Thallophytes :
Partie 1 :

Les Algues.

I\ Evolution et phylogénie.

A\ Que sont les algues ?

On ne peut pas donner d'image typique des algues.

Les couleurs observées, bien que différentes, ne sont pas spécifiques.

On trouve des algues de quelques micromètres (diatomées) jusqu'à plusieurs mètres. → On a une grande diversité : diversité de taille ; diversité morphologique : les *Chlamydomonas* sont des unicellulaires, *Ectocarpus* est filamenteuse, *Ulva lactuca* est structurée ; diversité écologique : on peut trouver des thallophytes dans les cours d'eau (diatomées, algues vertes, cyanobactéries), dans la neige (algues vertes) et sur terre.

Les laminaires présentent une convergence avec les végétaux supérieurs.

➔ Finalement, on observe de fortes adaptations aux différents milieux.

B\ Position phylogénétique : systématique et définitions.

Les thallophytes regroupent tout ce qui est différent des cormophytes.

Chez ces thallophytes, une cellule mère va générer des cellules filles emprisonnées dans la paroi de cette cellule mère.

Chez *Chara*, on trouve des cellules de reproduction sexuée qui préfigurent la graine.

Les Cryptogames ont des structures de reproduction cachées alors que les Phanérogames ont des structures de reproduction visibles.

Les caractères utilisés en phylogénie sont :

- Les caractères ontogéniques : le passage par des phases archaïques.
- Les caractères paléontologiques.
- La morphologie comparée.
- Les caractères moléculaires : ces caractères peuvent être discontinus, continus. On prendra le cas des gènes 16s. Ce dernier est très utilisé pour la mise en place des phylogénies car il est présent chez tous les organismes. Ils sont aussi abondants et très faciles à isoler.

Les algues sont des eucaryotes autotrophes dont l'appareil végétatif est un thalle (sans tissu différencié). On leur rapproche les cyanobactéries et les prochlorobactéries.

1\ *Ectocarpus siliculosus.*

L'appareil reproducteur est un cyste pluriloculaire avec des grains formés par mitoses.

Lorsque l'on n'a qu'une loge, c'est un cyste uniloculaire (on est chez le sporophyte), porté par des cellules contenant plusieurs spores (obtenues par méiose).

Quand on n'a pas de cyste uniloculaire, on se trouve chez le gamétophyte.

2\ *Sphacelaria plumula*.

On trouve une grosse cellule apicale et une tige formée d'une seule rangée de cellules.
Autour de l'axe central, on a un cortex cellulaire.
Les ronds orangés sont des plastes.
➔ **Le thalle est uniaxial, polystylé.**

3\ *Fucus*.

Fucus est une espèce dioïque. Les points observés à la surface sont des conceptacles. Les très grosses granules sont les parties femelles. Les tas de filaments sans structure épaisse sont la partie mâle.

4\ *Laminaria digitata*.

On trouve deux zones corticales pigmentées (le méristoderme) avec des structures de reproduction (cystes et paraphyses). On trouve ensuite deux zones composées de grosses cellules (les cellules d'assises) et une zone interne avec des filaments (la médullaire).

On trouve un plaste divisé en vésicules, reliées entre elles par une membrane.

II\ Diversité de thalle et mécanisme de croissance.

A\ Organisation générale.

Les archéthalles présentent des cellules non unies (indépendantes), isolées ou non.

Les nématothalles montrent des cellules dépendantes avec des thalles filamenteux pouvant évoluer en lame. La croissance va être diffuse ou localisée en région apicale. Les cellules sont reliées par le plasmodesme.

Les cladothalles sont des thalles filamenteux à axe de croissance préférentiel.

1\ Les Archéthalles.

a\ Les cellules les plus simples.

On trouve des cellules indépendantes, isolées ou incluses dans un cénobe. On trouve par exemple, Chlamydomonas qui possède deux flagelles.

b\ Les cellules isolées.

Dans ces cellules, on trouve : une paroi, un corps intracellulaire, des dyctiosomes, un gros plaste avec une masse protéique (pyrénoïde), un stigma dans le plaste (la structure photosensible qui permet l'orientation des cellules nageuses), deux vacuoles pulsatiles participant à l'osmorégulation, deux équiflagelles. La division a généralement lieu par bipartition.

c\ Les associations de cellules immobiles.

Chez Scénédesmus, on a quatre cellules qui peuvent se séparer et donner de nouveaux cénobes. Ces cellules sont associées par un ciment.

d\ Les thalles pluricellulaires.

Dans ce cas, on peut trouver des cyanobactéries à structure pluricellulaire.

Chez *Zygnéma*, les cellules sont indépendantes, non réunies par un plasmodème.

Chez *Pediastrum*, il y a association cellulaire. Chaque cellule donnera un cyste qui permettra la formation de spores flagellées restant groupées dans un mucilage. L'appareil végétatif va se transformer et donner un adulte : les centres opérateurs organisent la mise en place du réseau de filaments.

e\ Les associations cellulaires mobiles.

Chez les chlorophycées, on observe une évolution de ces structures.

De *Gonium*, groupement de 16 cellules en forme de coupelle, on passe à *Pandorina*, comprenant toujours 16 cellules mais cette fois, de forme sphérique. Finalement, on arrive à *Eudorina*, composée de 64 cellules avec une spécialisation apparente. Le dernier stade est Volvox.

Chez Volvox, composé de plusieurs milliers de cellules, on trouve des petits ronds verts (à l'intérieur) qui sont des cénobes fils.

Cette évolution morphologique va être suivie par une spécialisation des cellules (chez *Gonium*, toutes les cellules sont indépendantes). Chez *Eudorina*, de nombreuses cellules ont une fonction reproductrice. La tendance évolutive est à la réduction du nombre de cellules reproductrices.

Chez *Volvox*, les gonidies (appareils reproducteurs) apparaissent au moment de la reproduction. Ces gonidies sont des retournements de membrane.

2\ Les Nématothalles.

a\ Origine.

Chez les nématothalles, on observe un changement d'organisation fonctionnelle par rapport aux archéthalles.

Ces thalles peuvent évoluer en lame.

Les relations intercellulaires se font par l'intermédiaire d'une synapse, bouchée par un bouchon synaptique

b\ Les divers types de filaments.

On peut trouver des filaments prostrés, dressés, hétérotriches.

Les filaments haplostiques sont des filaments composées d'une unique file cellulaire (exemple : *Ectocarpus*).

Les filaments polystiques sont composés de plusieurs rangées de cellules (exemple : *Entéromorpha*).

Parmi les espèces à thalle siphonné, on trouve *Vaucheria*.

3\ Les cladothalles.

a\ Origine.

Ces thalles ont un axe préférentiel de croissance : le cladome primaire.

La croissance est continue. Sur chaque cladome, on va trouver des pleuridies. Les pleuridies sont de petits filaments ayant une croissance continue.

b\ Les différentes structures.

Les cladothalles uniaxiaux ont un axe central composé d'une file de cellules (haplostiques).

Les cladothalles polystiques ont un axe central avec cortex.

Les cladothalles multiaxiaux présentent des articulations entre des articles calcifiés : c'est une zone sous le cortex pleuridien (exemple : *Corallina officinalis*).

c\ Variations morphologiques.

Les lames foliacées (exemple : Delesseria).

La lame donne un cladome primaire qui donne lui, des cladomes secondaires et des pleuridies couchées entre les cladomes secondaires.

Les cladomes à filaments siphonnés.

Ils sont trouvés chez les Choloropyceae, Bryopsidales.

Les cladomes à filaments hémisiphonés.

Dans ce cas, on a des articles plurinucléés. Entre les cellules, la paroi vient former un bouchon d'obturation. Des vacuoles internes, riches en polysaccharides, viennent former la paroi.

Les cladomes de Florideophyceae.

Ces cladomes présentent de nombreuses variantes ; ils peuvent être formés de cellules ou de filaments ➔ ce sont des cladomes aplatis.

On trouve aussi des cladomes multiaxiaux : une zone corticale est formée de filaments ou de cellules ainsi que de petits rameaux. Chez certaines algues, le cladome multiaxial disparaît sauf dans la région apicale.

B\ Mode de croissance.

1\ La croissance diffuse.

Toutes les cellules sont aptes à se diviser : Chlorophyceae, Ulothrix, Spyrogyra.

2\ La croissance localisée (une zone de croissance).

On peut trouver une zone intercalaire qui est contenue dans l'appareil végétatif.

La croissance trichothallique se fait par des cellules supérieures plus fines et elle est rencontrée dans plusieurs genres d'algues brunes comme chez Ectocarpus.

On peut aussi trouver plusieurs zones de croissance par filament.

3\ La croissance apicale.

Cette croissance est réalisée par une cellule apicale et permet la formation de toutes les algues siphonnées. On trouve ce cas chez les Sphacélariales (algues brunes). Si l'on ne trouve qu'une cellule apicale, on aura un cladome uniaxial ; si l'on a plusieurs cellules apicales, le cladome sera multiaxial.

C\ Les thalles de phaeophyceae.

L'appareil végétatif est très développé.

Chez Dyctiota dichotomia, on a une cellule apicale qui donne deux cellules filles puis deux ramifications qui donneront quatre cellules filles puis quatre ramifications.

Les cellules à la base des cellules apicales sont des cellules filles.

La zone corticale donne des cellules pigmentées. Les grosses cellules sont des cellules de stockage.

Fucus sp.

L'appareil végétatif est un disque basal et est aplati. Il peut donner des vésicules aérifères (pour le soutien).

On ne trouve pas de nervure mais une rainure et une zone fertile apicale (le réceptacle).

A l'extrémité, on trouve des cryptes avec une grosse cellule (cellules apicales) avec cinq plans de mitose. Cette cellule est l'origine d'une couche cellulaire qui sera à l'origine de filaments.

On trouve aussi deux zones corticales (méristoderme) assimilatrices.

On distingue aussi des cellules anguleuses qui forment un cortex de soutien.

Les Laminariales.

Les laminariales ont une longue structure érigée : stype avec une fronde et crampon basal.

On distinguera deux organisations différentes : un stype pérenne et une fronde annuelle. La zone de croissance est intercalaire et l'allongement du stype entraîne la formation d'une nouvelle fronde.

Sur le stype, à l'extérieur, on a le méristoderme qui montre une croissance en épaisseur montrée par des stries annuelles.

On peut voir des petits canaux qui sont des canaux mucifères et des cellules accolées à paroi criblée.

➔ Cette ligne des laminariales est parallèle à celle qui a donné les végétaux supérieurs.

D\ Les structures cellulaires particulières.

1\ La paroi ou exosquelette.

a\ Les algues sans paroi.

Ces algues ont un système de rigidification.

Les **Cryptophytes** (unicellulaires). Il y a formation de plaques qui sont des inclusions de protéines sous le plasmalemme.

Les **Dinophyceae** ont des armures de plaques protéiques.

Les **Euglenophyceae**. Chez *Phacus*, une espèce striée, on peut voir que les stries sont dues à des plaques articulées entre elles sous le plasmalemme. Les *Phacus* sont capables d'effectuer des mouvements amiboïdes.

Les **Chrysophyceae** (Emiliana luxleyi). A l'intérieur, on trouvera des écailles de calcite aussi appelées coccolites ou coccosphères.

Chez les **Diatomophyceae** (Bacillariophyceae), on trouve un frustule siliceux. Ce sont des espèces souvent pélagiques. On trouve deux types de symétrie : radiale (centrique) ou planaire (pennées). L'extérieur est recouvert par deux valves de silice, emboîtées (l'épivalve est supérieure et l'hypovalve est inférieure). Des ceintures connectives vont sceller les valves.

La division se fait quand une ceinture connective glisse ; il y aura division cellulaire et formation de nouvelles valves. Les nouvelles valves seront toujours des hypovalves (par rapport à celles déjà existantes). ➔ Il y a donc une diminution de la taille. Plus la taille diminue, plus la flottabilité régresse. Au bout d'un moment, il va y avoir reproduction sexuée par zoospores, fusion, formation d'un embryon et formation d'une cellule mère.

b\ La paroi des algues.

Cette paroi est constituée de deux phases : une phase cristalline (squelette de microfibrilles) et une phase amorphe (matrice prédominante).

Les algues rouges et brunes on une phase amorphe importante qui est un réseau de polysaccharides qui forme un mucilage (origine en boite à œufs).

La phase cristalline.

Cette phase est composée de cellulose, de xylème, de mannane, avec selon les algues, un polymère dominant.

Chez les chlorophycées, la phase amorphe est majoritairement composée d'hétéropolysaccharides sulfatés.

Chez les Rhodophyta, on trouve des galactanes, pour résister à l'immersion.

Chez les Phaeophyceae, on trouvera principalement des alginates.

2\ Les flagelles.

Un flagelle est composé de 9 associations de tubulines (α et β) avec 250 protéines associées.

On trouve un corpuscule basal qui permet l'insertion du flagelle ainsi qu'une structure intracellulaire.

Comme organisation de l'appareil cinétique on trouve :

- Cellules **acrokontées** : les flagelles apicaux.
- Cellules **isokontées** : les flagelles sont égaux.
- Cellules **pleurokontées** : les flagelles sont latéraux.
- Cellules **hétérokontées** : les flagelles sont différents.
- Cellules **stéphanokontées** : les flagelles ont une disposition rayonnante.

Chez les Rhodophyta, les flagelles sont absents ; chez les Chlorophyceae, les flagelles sont isokontés ; les Hétéroconta ont des flagelles hétérokontés.

Le déplacement des cellules flagellées se fait vers le haut (la fuite, vers le bas).

3\ Les plastes.

a\ Organisation.

Les formes archéoplastidiées : on trouve un gros plaste focal ou pariétal.

Les formes néoplastidiées : ce sont souvent des structures cladomiennes.

Les formes mésoplastidiées : ce sont des structures intermédiaires (exemple : Chladophora).

Les algues rouges, Bangyophyceae sont archéoplastidiées ; les Florideophyceae sont néoplastidiées.

Les algues brunes, comme Ectocarpus, sont archéoplastidiées.

b\ Structure.

Les algues vertes ont des chloroplastes qui sont formés de deux membranes et un système interne, les thylacoïdes. Chez les végétaux supérieurs, on a des granas qui sont des empilements de thylacoïdes.

Ces algues comprennent un pyrénoïde (structure protéique interne) qui ne forme pas de grana et qui permet la synthèse d'amidon intra-plastidiale.

Les algues brunes ont des phaeoplastes. Certains plastes comprennent un pyrénoïde en position déjetée. L'enveloppe externe est formée de quatre membranes : deux membranes comme chez les chloroplastes et deux externes de réticulum endoplasmique.

Entre les deux membranes externes et les deux internes, on trouve une structure avec de l'ADN : c'est le nucléomorphe (un noyau atrophié).

Il n'y a jamais de phycobilisomes.

Chez les Dinophyceae, on trouve une enveloppe classique, composée de deux membranes avec une membrane de réticulum.

Souvent, les thylacoïdes sont groupés par trois (en général).

Chez les Cryptophyceae, les thylacoïdes sont groupés par 2. Ceux de Dinophyceae et Euglenophyceae sont souvent non groupés (parfois, sont par trois).

<u>Les rhodoplastes de Rhodophyceae</u>.

Ce sont des pigments rouges hydrosolubles. L'enveloppe plastidiale est formée de deux membranes. Souvent, on a un seul thylacoïde qui peut faire tout le tour du plaste. Il y a absence de pyrénoïde dans les thylacoïdes des algues rouges.

En microscopie électronique, on voit des points de phycobilisomes : se sont des structures protéiques qui recouvrent les photosystèmes sur les thylacoïdes. Ils contiennent de la phyco-érythrine ainsi que de la phycocyanine.

On retrouve ce système sur les cyanobactéries où les thylacoïdes sont chapeautées par des phycobilisomes.

Les Cryptophyceae présente un nucléomorphe avec quatre membranes.

Les algues rouges ont deux membranes.

c\ Origine évolutive, la théorie de l'endosymbiose.

On trouve une structure unicellulaire eucaryote qui héberge un procaryote symbiotique : ce sont des cyanobactéries dans des glaucocystophytes.

Le symbiote est intégré à la cellule et subit une perte de son système membranaire (algues rouges).

Une cellule eucaryote « avale » une cellule eucaryote endosymbiotique : ce sont les cryptophytes (quatre membranes et un nucléomorphe).

Il y aura une disparition du nucléomorphe : il reste une enveloppe, deux membranes, deux réticulums mais plus de nucléomorphe.

On trouve des plastes primaires (chlorophyceae, rhodophyceae) et des plastes secondaires (algues brunes).

d\ Les stigmas.

Les stigmas sont présents chez de nombreuses algues flagellées.

Un stigma est une structure composée de caroténoïdes qui selon les espèces est une dépendance d'un plaste ou un plaste dégénéré.

C'est un photosystème qui intervient dans l'orientation : c'est un cache qui permet de générer une zone d'ombre. De plus, une structure photosensible serait à la base du flagelle. La flavine est la vraie structure photosensible réceptive. On observera une variation de dépolarisation du flagelle qui le fait battre ou non.

III\ La reproduction.

A\ Multiplication végétative.

1\ La bipartition cellulaire.

Les cellules vont se diviser en deux (exemple : *Chlamydomonas*). La division donne des cellules filles qui assureront la dissémination ou une réunification dans une colonie (exemple : Diatomées).

Cette bipartition n'existe pas chez les algues rouges.

2\ La fragmentation du thalle.

Cette fragmentation est fréquente, même chez les pluricellulaires. Celle-ci permet au végétal d'avoir un côté invasif. On trouve par exemple *Caulerpa taxifolia* qui envahie les posidonies (*Posidonia* et *Zostera* sont des graminées marines). Cette caulerpe est toxique pour de nombreux poissons et coquillages et vont donc diminuer la qualité du biotope.

Par exemple, la Sargasse est une algue ayant envahie la côte européenne venue avec des huîtres du Japon.

3\ La différenciation de spores.

<u>L'exemple des Sphacélariales :</u>

On trouvera par exemple des propagules qui sont des structures pluricellulaires.

Il pourra y avoir formation de zoospores comme chez *Oedogonium* (libération de spores stéphanokontés).

B\ La reproduction sexuée.

1\ Les gamètes et types de gamies.

a\ L'hologamie.

Il va y avoir de deux cellules correspondant à l'appareil végétatif qui fusionnent. C'est le cas des structures unicellulaires.

b\ La cystogamie.

Il va y avoir fusion de deux cellules sans qu'il n'y ait de différenciation de gamètes (une cellule par individu).

c\ La planogamie.

Il va y avoir de gamètes flagellés. Gamètes mâles et femelles peuvent avoir la même morphologie (planogamie isogame) ou une morphologie différente (planogamie anisogame).

d\ L'oogamie.

Dans ce cas, l'oosphère est non flagellée.

e\ Exemples.

La cystogamie chez *Casmarion* (algue unicellulaire) : deux cellules s'accolent (en position perpendiculaire) par leur mucilage. Les contenus cellulaires vont fusionner pour former un zygote.

L'hologamie chez *Spirogyra*. Deux filaments vont fusionner. Tout passe dans un des filaments. Il y a anisogamie car on trouve un donneur et un receveur.

2\ Illustrations de quelques cycles.

a\ *Ulva lactuca*.

On trouve deux générations (une haploïde et une diploïde), c'est un cycle digénétique haplodiplophasique. Les générations haploïdes et diploïdes ont la même morphologie (cycle digénétique isomorphe). Il y a planogamie anisogame.

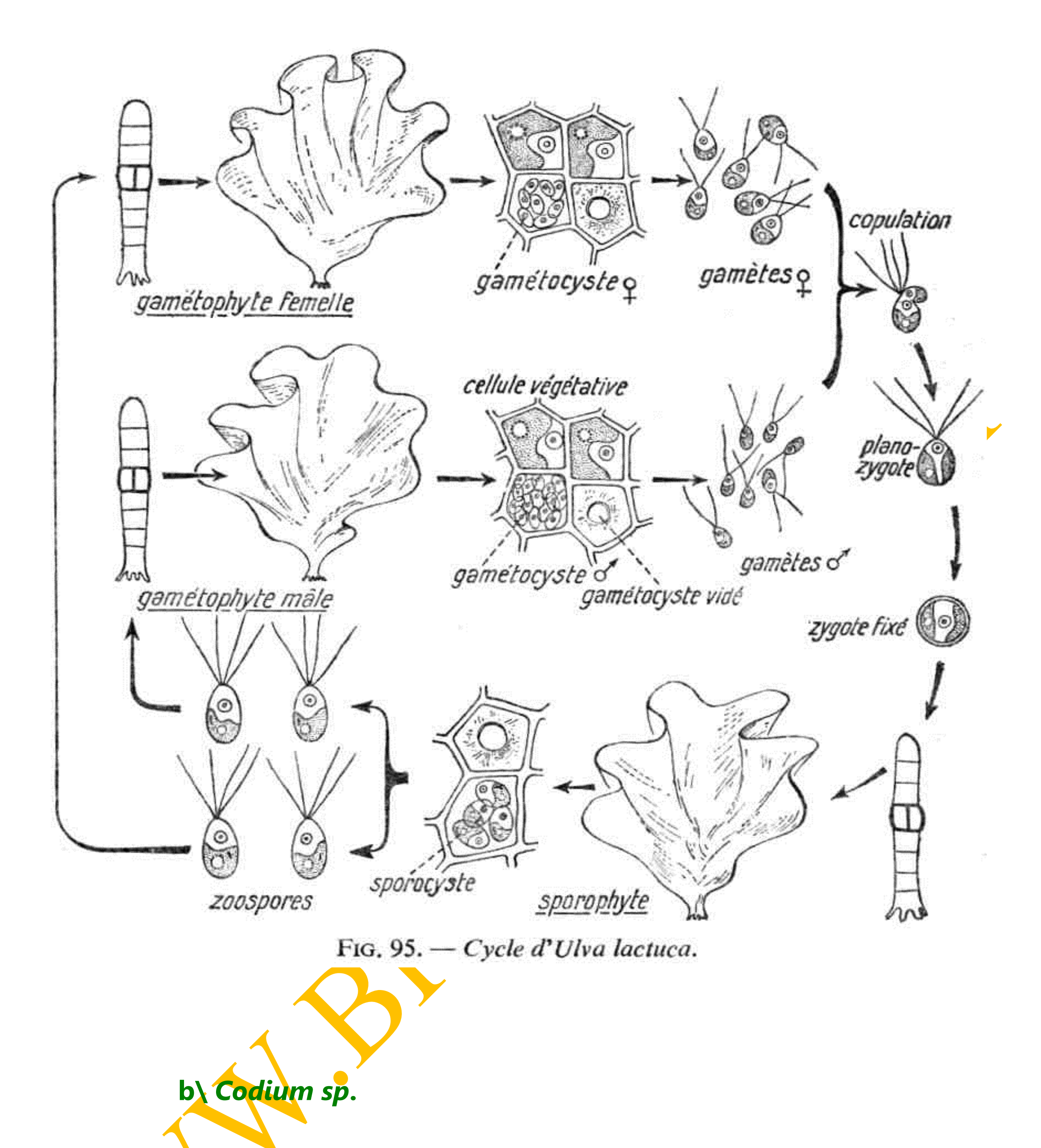
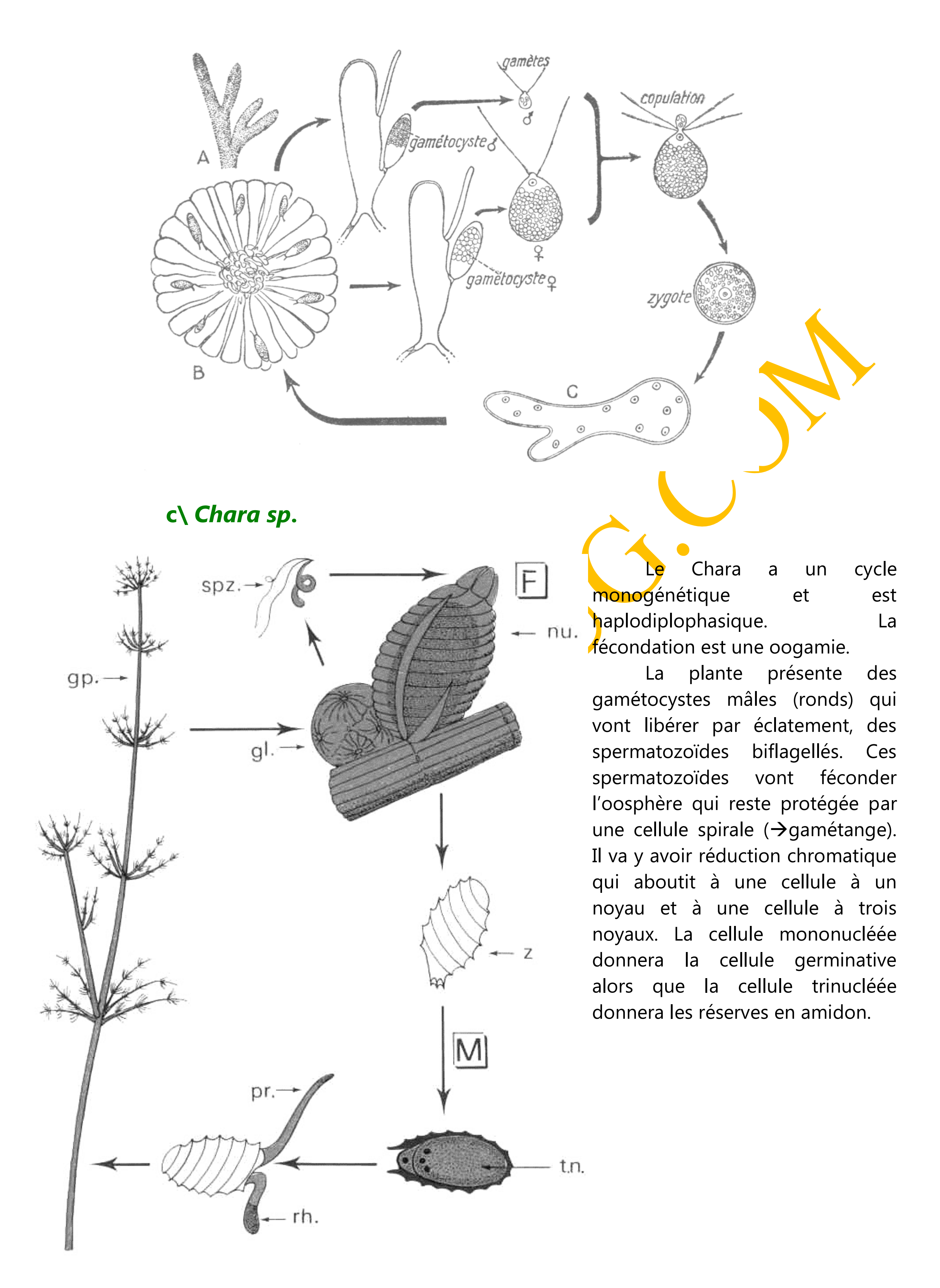


FIG. 95. — *Cycle d'Ulva lactuca.*

b\ *Codium sp.*

Le cycle est monogénétique, diplophasique. La planogamie est anisogame. Les utricules portent des gamétocystes qui donnent des gamètes mâles et femelles qui après fécondation donnent un embryon qui va donner des filaments puis une plante qui porte des utricules.



c\ *Chara sp.*

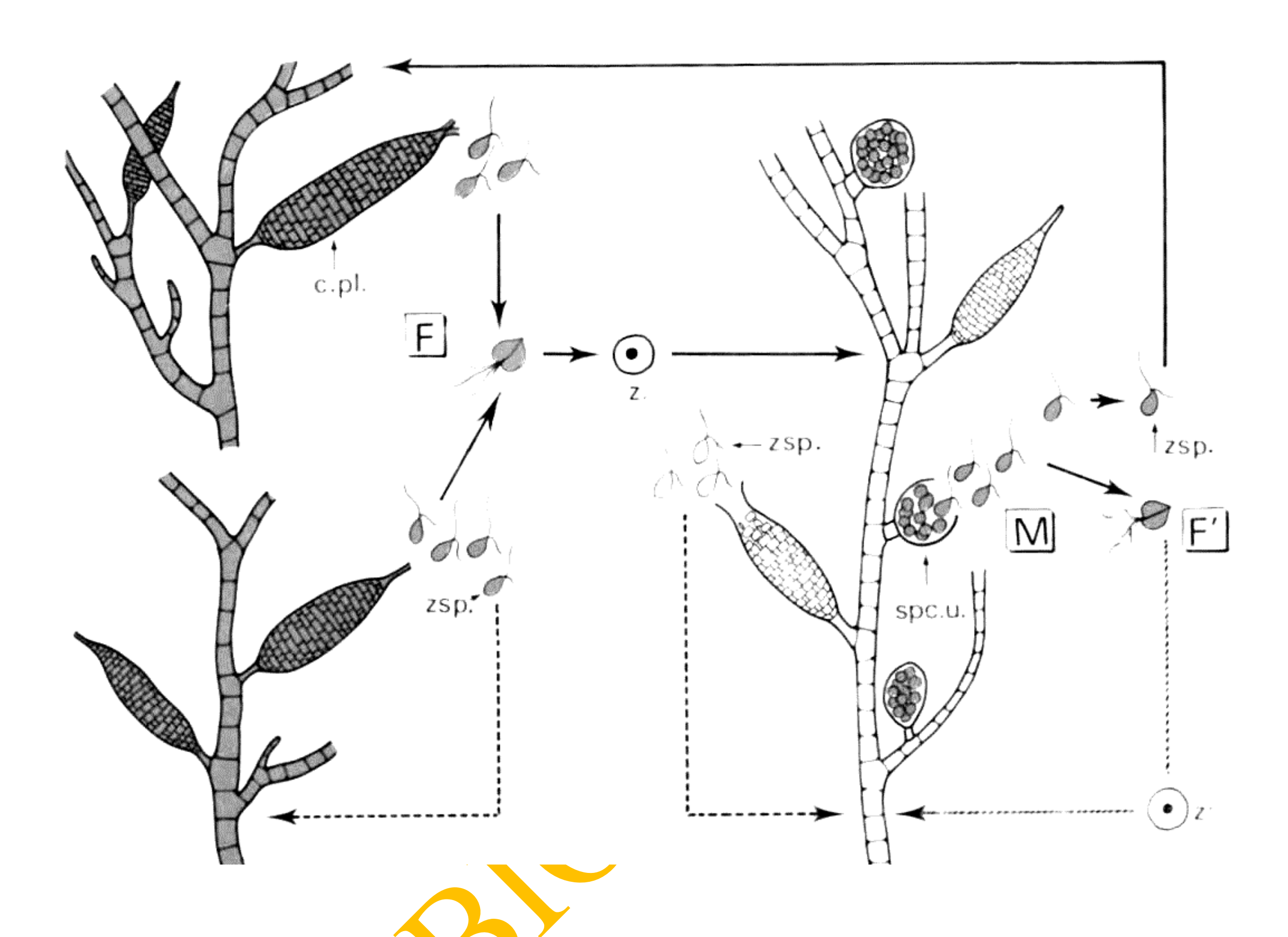
Le Chara a un cycle monogénétique et est haplodiplophasique. La fécondation est une oogamie.

La plante présente des gamétocystes mâles (ronds) qui vont libérer par éclatement, des spermatozoïdes biflagellés. Ces spermatozoïdes vont féconder l'oosphère qui reste protégée par une cellule spirale (→gamétange). Il va y avoir réduction chromatique qui aboutit à une cellule à un noyau et à une cellule à trois noyaux. La cellule mononucléée donnera la cellule germinative alors que la cellule trinucléée donnera les réserves en amidon.

→ Chara pourrait être le chaînon manquant entre les algues et les végétaux supérieurs. « L'œuf » de Chara préfigure la graine car il y a apparition des cellules de protection, d'albumen et d'une cellule germinative.

d\ *Ectocarpus siliculosus.*

Ectocarpus présente deux cycles : un cycle digénétique diplohaplophasique et une variante monogénétique diplophasique.



En traits pleins, le trajet digénétique ; en traits discontinus, le trajet monogénétique.

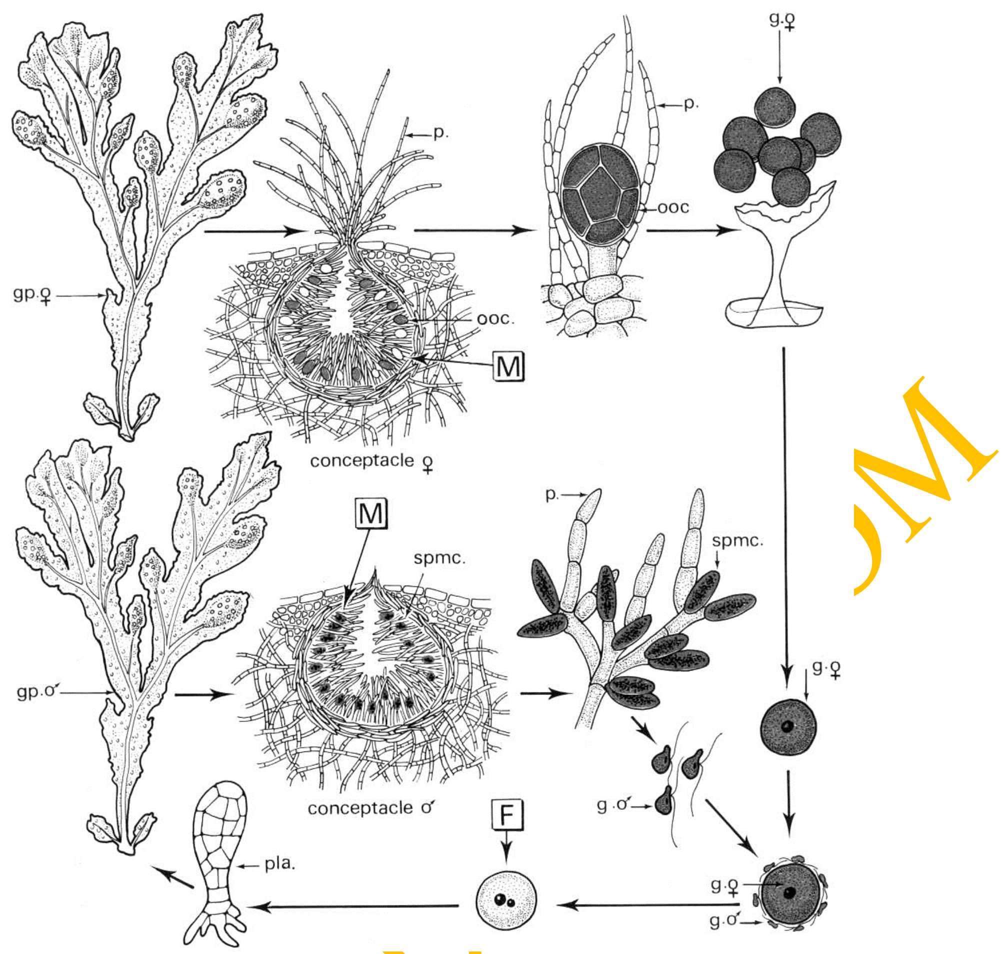
Les gamétophytes haploïdes portent des cystes pluriloculaires qui libèrent des zoospores. Ces zoospores ont deux devenirs possibles : soit, donner un gamétophyte haploïde par germination, soit, participer à la fécondation par planogamie anisogame.

Cette fécondation donne un embryon qui va former un sporophyte diploïde. Sur ce sporophyte, on va trouver deux sortes de cystes.

Les premiers cystes sont les cystes pluriloculaires qui donnent des zoospores à 2N. Ces dernières redonneront directement des sporophytes diploïdes. Les seconds cystes sont les cystes uniloculaires qui libèrent des zoospores à N. Ces zoospores vont alors donner un gamétophyte haploïde. Là, le cycle est bouclé.

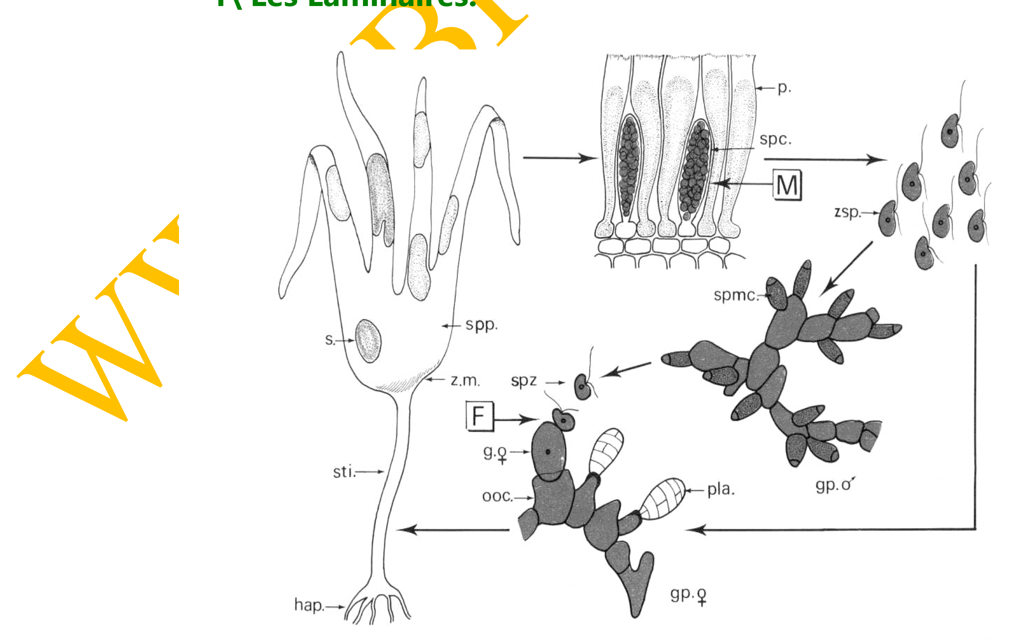
On peut avoir une variante ou les zoospores à N jouent le rôle de gamètes et permettent donc la fécondation. Celle-ci donne un embryon évoluant en sporophyte qui pourra redonner des zoospores à N.

e\ *Fucus serratus.*



Le cycle de ce Fucus monogénétique, diploïde. La fécondation est une oogamie et les flagelles portés sont au nombre de deux et différents morphologiquement.

f\ Les Laminaires.



Reproduction sexuée et cycle schématique du développement de la Phéophycée *Laminaria digitata*

Le cycle présente deux générations, une génération sporophytique et une génération gamétophytique.

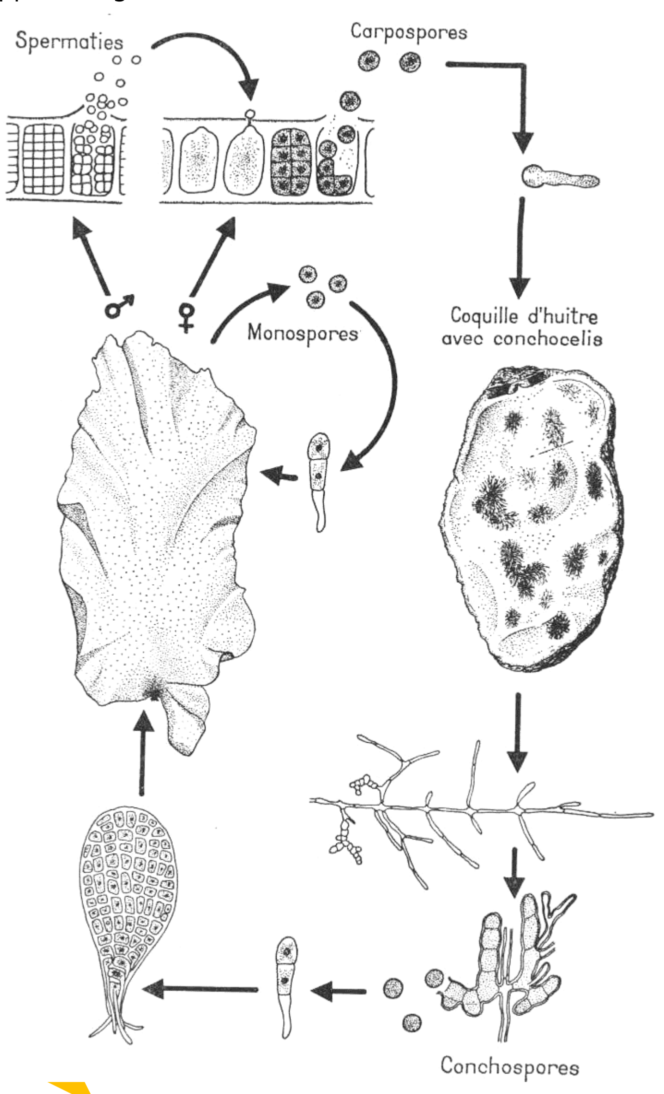
Le sporophyte va donner une cellule qui va subir la méiose, donner des cystes uniloculaires. Ces cystes sont insérés entre des cellules stériles, les paraphyses.

Les cystes contiennent des zoospores haploïdes qui donneront des gamétophytes (mâles ou femelles). Ces derniers (les formes mâles) forment des spermatocystes libérant des spermatozoïdes qui vont féconder les oosphères et ainsi, donner un zygote.

➔ Le cycle est digénétique, haplodiplophasique, hétéromorphe.

g\ *Porphyra umbilicalis* (algue rouge).

L'appareil végétatif est un cénobe.

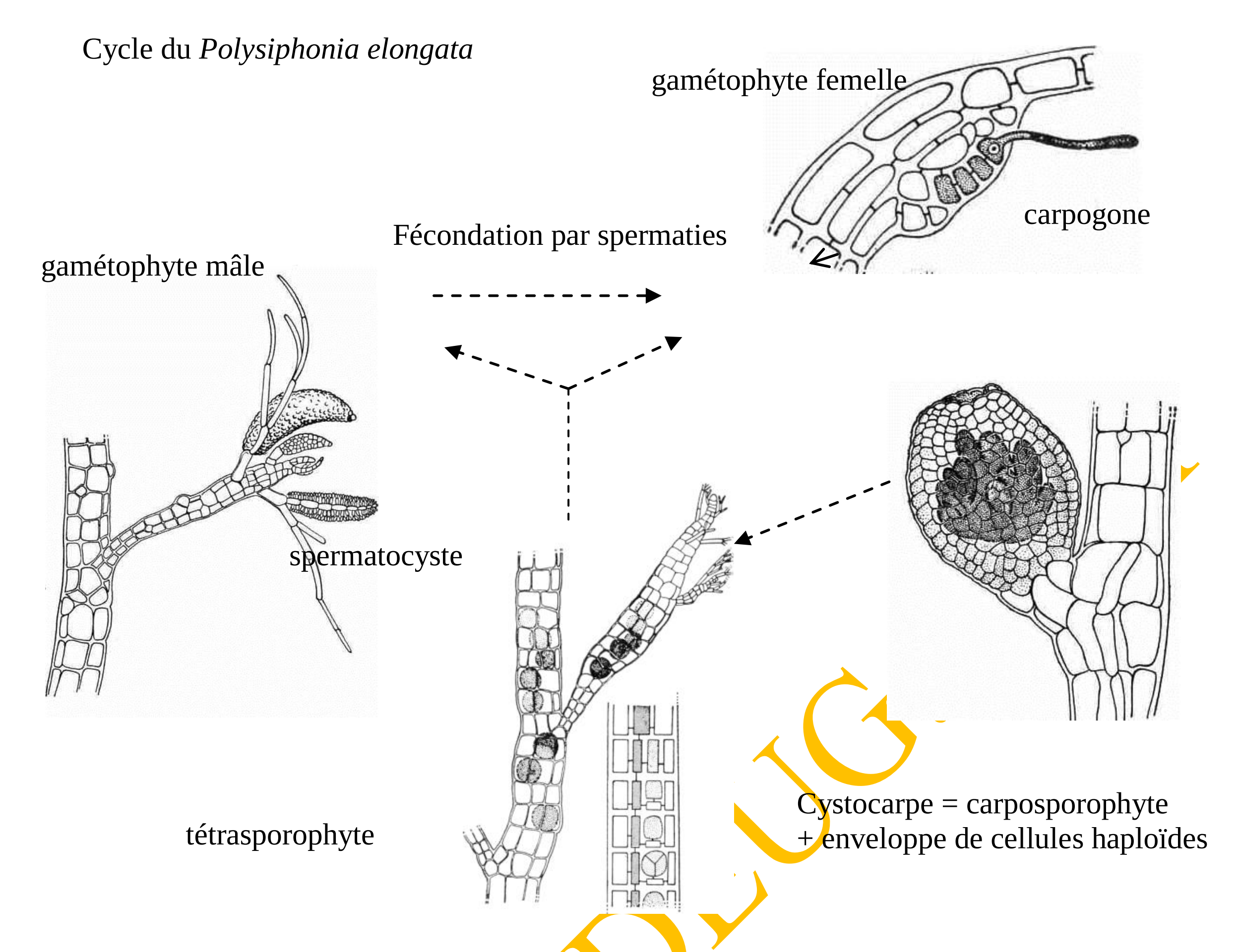


Il n'existe pas de cellules flagellées chez ces algues. On ne trouve donc pas de spermatozoïde mais des spermaties. Ces dernières vont féconder le carpogone qui subit alors trois mitoses et forme huit cellules. Ces huit cellules libérées sont les carpospores.

Elles vont germer et donner un filament incrustant (sporophyte qui se développe sur un support calcaire). Le filament subit la réduction chromatique et donne des spores qui en germant, donneront des lames de *Porphyra*.

h\ *Polysiphonia elongata* (Florideophyceae).

Polysiphonia présente un cycle trigénétique, haplodiplophasique.



Le gamétophyte mâle libère des spermaties. Les gamétophytes femelles mettent en place des carpogones, surmontés par un trichogyne. Les spermaties vont féconder les carpogones.

La fécondation donne un zygote qui reste fixé sur le pied mère pour effectuer une multiplication cellulaire : il évolue ainsi en carposporophyte. Ce dernier libèrera des carpospores évoluant en (tétra)sporophytes lui-même, donnant des tétrasporocystes, libérant des tétraspores. Ces dernières spores donneront les gamétophytes (mâles et femelles).

Une génération est une structure pluricellulaire venant d'une fécondation ou de la germination d'une spore et qui libère elle-même des spores.

IV\ Les algues et leur milieu.

A\ Les types trophiques.

Les milieux de développement des algues sont des zones avec présence de lumière. Le classement se fait selon les sources d'énergie et selon les sources alimentaires.

Les bactéries vertes seront trouvées dans les sources d'eau chaude alors que les bactéries pourpres sont présentes dans les zones soufrées.

On pourra distinguer des organismes à photosynthèse archaïque ou à photosynthèse évoluée.

➔ **On fera une différenciation par rapport à la composition pigmentaire.**

La bactériorhodopsine est une protéine permettant de faire toute la chaîne de la photosynthèse à elle seule.

Les plantes effectuant une photosynthèse évoluée comprennent les pigments suivants : fucoxanthine, chlorophylle A, photosystèmes, pigments surnuméraires comme les phycobilines (phycocyanine, phycoérythrine).

Les phycobilines sont surtout présentes chez les cyanobactéries et les rhodophytes.

Le trajet des électrons.

Chez les algues et les cyanobactéries, le principe est le même : l'eau donne l'oxygène qui sera libéré sous forme d'O_2 gazeux. Les électrons seront ensuite déplacés.

Les bactéries pourpres et vertes ont un photosystème anoxygénique qui montre un trajet cyclique des électrons.

B\ Les algues benthiques.

1\ Le milieu marin.

La flore marine est composée à 93,8% d'algues ; 5,5% sont des monocotylédones marins (exemples : Zostères, Posidonie) ; quelques lichens dans les zones de balancement de marées.

2\ Les contraintes à la vie marine et adaptations.

On assiste à une raréfaction de la lumière en fonction de la profondeur. Plus la profondeur augmente, plus la quantité et la qualité de la lumière diminuent. Le rouge et le violet disparaissent les premiers. Le vert reste fort longtemps.

On observe donc :

- Des phytoplanctons dans les premiers mètres qui absorbent surtout le rouge et le bleu.
- L'énergie photonique est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. ($E=h.c/\lambda$)

a\ L'adaptation aux profondeurs.

- La théorie de l'adaptation chromatique complémentaire.

En surface, toutes les algues sont viables. Un peu en dessous (à partir de 10 mètres), les algues vertes meurent. Les radiations vertes restantes ne permettent que le développement des algues rouges. Cette théorie est sûrement vraie pour les zones pauvres en espèces.

-la théorie de la plasticité de l'appareil pigmentaire.

Pour cette théorie, il faut faire une étude du rendement synthétique.

Avant un certain point d'éclairement, la concentration en oxygène est inférieure à 0, il y a donc respiration.

Au dessus, la concentration en oxygène devient supérieure à 0, il y a donc plus d'O_2 dégagé que d'O_2 utilisé pour la respiration.

Si la lumière diminue, le point de compensation va diminuer.

Si le point de compensation diminue, cela permet à l'algue un développement dans une illumination plus faible.

En fait, seul le rapport de la chlorophylle A sur la chlorophylle B augmente. Il y a donc augmentation de la taille des antennes collectrices de photons.

→ Chaque espèce s'adapte différemment.

b\ Les contraintes liées à la vie en zone côtière.

Les marées vont provoquer une émersion des algues : il va y avoir une forte variation de l'illumination et une variation de pH et de salinité (on comprend alors le rôle de la paroi).

Les alginates sont des sucres acides avec des fonctions carboxyles qui piègent les ions en limitant l'entrée et la sortie d'ions au travers de la paroi.

L'illumination directe va entraîner la formation de radicaux libres (H_2O_2) qui entraînent une photo inhibition. Cette dernière est souvent irréversible.

Certaines algues vont développer un système de protection : présence d'une xanthophylle (violaxanthine) qui est transformé en zéaxanthine. La violaxanthine va modifier l'absorption car la zéaxanthine a un spectre d'absorption très fortement semblable à celui de la chlorophylle. Ce système est réversible quand la plante repasse à une plus basse illumination.

3\ Zonation des algues.

Dans les zones de balancement de marées, il y a dispersion des algues selon les capacités de résistance aux contraintes liées à l'émersion.

Les phéophycées sont spécialisées dans l'adaptation.

Thallophytes
Partie 2 :

Les Mycètes et les Lichens.

Généralités

Un plasmode est une masse cellulaire sans paroi.

Les thalles unicellulaires sont trouvés, par exemple, chez les levures.

Les thalles pluricellulaires peuvent être à filaments non cloisonnés ou à filaments septés (on trouvera un ou plusieurs noyaux selon l'organisme).

La multiplication végétative peut se faire selon diverses modalités.

On peut trouver une multiplication par des organes spécialisés comme avec les sporocystes qui libèrent des spores. Les sporocystes sont portés par des sporocystophores (filament érigé).Les spores obtenus peuvent être de deux types :

- Des spores endogènes qui donneront des spores sèches ou des spores flagellées si elles sont dans une cellule spécialisée.
- Des spores exogènes qui sont aussi appelées des conidies. Dans ce cas, le filament porteur est un conidiophore.

Les modes de reproduction sexuée existant sont divers :

- La planogamie.

Les gamétocystes (mâles ou femelles) donnent des gamètes flagellés qui sont émis à l'extérieur et qui vont fusionner. Cette fusion donne un planozygote qui se fixe.

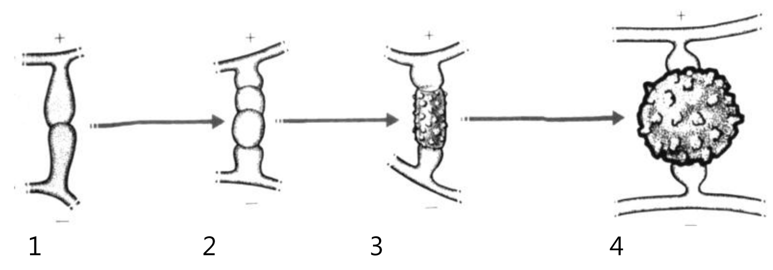
- L'oogamie.

Le gamétocyste mâle (ou spermatocyste) donne des gamètes flagellés (spermatozoïdes) qui vont aller féconder le gamète femelle (oosphère) dans le sporocyste femelle (oocyste). L'œuf est contenu dans l'oocyste : c'est l'oospore.

- L'oogamie siphonogame.

Le gamétocyste mâle ne donne pas de spermatozoïdes. Il doit venir s'accoler au gamétocyste femelle puis émettre des siphons copulateurs qui perforent la paroi de l'oocyste.

- Cystogamie (ou zygogamie).



1 2 3 4

1 : progamétocystes + et - ;
2 : gamétocystes et suspenseurs ;
3 : fusion des gamétocystes ;
4 : zygospore.

Dans ce cas, on n'a besoin que de deux thalles compatibles, sans besoin de gamète. Il va y avoir émission d'un diverticule latéral (progamétocyste). Ensuite, apparaît une cloison latérale qui est le gamétocyste **et** le suspenseur.

Il va ensuite y avoir mélange des noyaux puis formation du zygote à paroi échinulée.

- La trichogamie.

Dans ce cas, le gamète mâle est une spermatie (non flagellé), émise par un filament.

L'organe femelle est un ascogone (cellule globuleuse surmontée d'un trichogyne). Il va y avoir fusion des parois puis injection du noyau mâle à l'intérieur de l'ascogone. Pendant le parcours du noyau mâle, ce dernier va se multiplier. Il y aura ensuite appariement sans fusion (dicaryon). On a alors des asques, aussi appelés, méiogamétocystes.

- La somatogamie.

Il va y avoir fusion de deux thalles compatibles et formations de dicaryons.

	Appareil végétatif	**Multiplication végétative**	**Reproduction sexuée**
Myxomycètes	Plasmode		
Oomycètes **Chytridiomycètes**	Filaments siphonnés	Zoospores	Oogamie, Siphonogamie, Planogamie.
Zygomycètes	Filaments siphonnés	Aplanospores	Zygogamie
Ascomycètes	Filaments septés	Conidies	Trichogamie /Asques
Basidiomycètes	Filaments septés	Conidies ou rien	Basides / Asques

I\ Phylogénie des champignons.

C'est à un règne à part comprenant environ 56 000 espèces connues (1 million d'espèces estimées). La classification est basée sur la morphologie, la biochimie et la biologie moléculaire.

A\ Les différents types de thalles.

Ils peuvent être macroscopiques souterrains (truffe) ou aériens (amanites). D'autres thalles sont microscopiques.

Tous les champignons sont des eucaryotes, se nourrissant par absorption ; leur appareil végétatif est un thalle. Ils **ne sont pas chlorophylliens**

On trouve les myxomycètes qui ont des mouvements amiboïdes car leur reproduction est réalisée par des sporocystes. On trouve aussi les oomycètes qui ont un thalle filamenteux, une nutrition par absorption et une reproduction par formation de spores.

B\ Le rôle des champignons dans la nature.

Les champignons peuvent être : **décomposeurs**, **symbiotiques**, **parasites d'animaux ou de végétaux**. Ils sont une source d'alimentation pour l'Homme, soit de manière directe soit indirectement (fermentation, affinage).

L'identification se fait selon des critères morphologiques : on doit donc connaître plus ou moins la classification.

C\ Les différents types de thalles.

Le thalle est la partie végétative assurant l'absorption des nutriments et permettant le développement des organes reproducteurs. Parmi les différents thalles, on distingue :

- Les **plasmodes** (*myxomycètes*)
- Les **nématothalles** : peuvent être érigés (allongés) ou coccoïdes.
- Les **cladothalles** : ils sont rares, comprennent les *ascomycètes*.
- Les **thalles septés**.
- Les **thalles siphonnés** : ont une cloison, pour délimiter un organe ou bine pour séparer une partie morte.
- Les **agglomérats à hyphes** : rigomorphes ou cordons (ressemblent à une racine) ; hyphes : cherchent les nutriments dans le sol, les parties anciennes s'agglomèrent pour former les hyphes.
    - Les **sclérotes** : ce sont des *amas d'hyphes* dont des *cellules de la périphérie se réunissent* et les *filaments centraux donnent la « moelle »* riche en réserves nutritives. On les trouve chez les **ascomycètes** et chez les **basidiomycètes**. (Exemple : *ergot du seigle*).
    - Les **coussins conidifères** : ce sont des agglomérats de conidiophores (*Monilia laxa*).
    - Les **acervules** : ce sont les moins organisés. On les trouve sur les champignons de plantes. Les conidiophores s'accumulent sous l'épiderme du vaisseau (conidiophore).
    - Les **pycnides** sont des structures en *forme de bouteille* avec un col qui forme un orifice.
    - Les **carpophores** : ce sont des *amas de filaments septés* donnant un pied et un chapeau. Les hyphes sont serrés et forment un réseau lâche de filaments.
- Les **stolons et rhizoïdes** : ce sont des *filaments qui poussent en ligne droite* (stolon) puis qui se courbent. Il y a formation de rhizoïdes qui émettent une touffe de sporocystophores puis un nouveau stolon.

D\ Aspect cytologique du thalle.

Le noyau est petite taille, le nombre de chromosomes est restreint (entre 4 et 8) ; l'appareil de Golgi est atypique ; Présence de vacuoles dont l'importance augmente lors du vieillissement du thalle ; les réserves sont sous forme de lipides et de glycogène.

E\ Composition de la paroi.

Elle est faite de 80% de polysaccharides, 10% de protéines et 10% de lipides.
La chitine, chez les Eumycota est un polymère de N-actéyl glucose amine ($\beta 1 \rightarrow 4$).
Le chitosan est formé de glucose amine sans groupement acétal.
Le glucane est un résidu de glucoses formant des polyoses liés en $\beta 1 \rightarrow 3$ et ramifié en $\beta 1 \rightarrow 6$.

F\ Croissance chez les champignons.

Il n'y a **jamais de croissance intercalaire** ➔ Il y a toujours **croissance apicale**.

L'apex contient *l'activité mitotique du filament* et possède des propriétés biologiques particulières. Le *diamètre d'un filament est constant*. La **paroi est rigide** (indéformable) et il existe une

polarité en direction de l'apex (mouvements de cytoplasme avec accroissement de la pression de turgescence).

G\ Organisation physiologique de l'apex.

1 : zone riche en **vésicules** ; 2 : une **zone riche en mitochondries** et **REG** et un certain *nombre de filaments d'actine* ; 3 : **noyaux et vacuoles** qui permettent d'apporter la *pression de turgescence* nécessaire à l'élongation.

Suivant les types de champignons, l'agglomération des vacuoles sera différente : diffuse, à l'extrémité. Les ascomycètes présentent une densité aux extrémités (= spitzenkörper). Chez les basidiomycètes, les spitzenkörper ne sont que des vésicules en anneau autour. On a une accumulation de vésicules impliquées dans la synthèse de la nouvelle paroi au niveau de l'apex.

Les vésicules migrent vers l'apex par des microfilaments d'actine. Ces vésicules fusionnent ensuite avec la membrane plasmique et il y a extrusion de leur contenu (polymères de la paroi).

Au niveau du dôme, il y a expulsion de monomères de chitine, ce qui crée une zone élastique. Sur le côté, il y a libération de la chitine-synthase qui va polymériser la chitine. Cette enzyme est expulsée au niveau du dôme.

H\ Formation des ramifications.

Si le diamètre est constant, le thalle ne peut pas grossir, il va donc se ramifier pour « évacuer » l'excédent de nutriments.

Après les premières cloisons, il y a formation des premières ramifications (indifféremment dans l'espace).

Il faut qu'il y ait « dissolution » de la paroi pour pouvoir former un nouvel apex : nécessité d'enzymes lytiques.

La ramification est aussi une alternative à la mobilité et à la dissémination. Ainsi, les colonies de champignons sont radiaires. Les parties vieilles sont au centre alors que les parties jeunes sont aux extrémités.

I\ Formation septums.

La formation des septums est centripète : elle commence au centre et s'étend vers les bords jusqu'à obturer les filaments. Les cloisons ont au milieu un pore permettant le passage du cytoplasme. Il sert à la communication des cellules et au passage des nutriments.

Quand il y a mort d'une cellule, il y a fermeture de ce pore afin d'isoler cette cellule.

II\ La multiplication végétative.

Un individu se développe identique à lui-même. On trouve :

- Les bourgeonnements : levures.
- Fragmentation du thalle
- Formation de cellules spécialisées.

A\ Bourgeonnement.

Il y a formation d'un bourgeon. Quand la cellule est aussi grosse que la cellule mère, elle peut se séparer ou bien rester accolée. Si elle ne se sépare pas, il y aura formation d'une file de cellules appelées pseudomycélium.

B\ Fragmentation du thalle.

Dans ce cas, les cellules formées sont des orthospores. Les cellules commencent par accumuler des réserves. Leur paroi se gélifie et les cellules se séparent du filament. Ces cellules deviennent des spores capables de générer un nouveau filament (géotricum).

Il y aura formation de clamidospores qui ont un rôle de conservation. Leur paroi est épaisse et apparaît double ; leur cytoplasme est riche en réserves et parait coloré.

C\ La formation de cellules spécialisées : sporulation vraie.

1\ Les spores endogènes.

Ces spores apparaissent chez les oomycètes par un phénomène de polyplanétisme. La spore ne peut former directement un filament. La spore doit s'enkyster et donner une nouvelle spore flagellée (spore de second ordre). C'est le diplanétisme, avec deux spores nageuses.

Ces spores peuvent germer un nouveau filament ou donner, après un nouvel enkystement, d'autres spores (de troisième ordre). Ces ré enkystements successifs procurent la capacité de germer.

Les saprolégniales (inféodés à l'eau) voient leur phénomène de polyplanétisme s réduire au cours de l'évolution et de la diminution de leur dépendance à l'eau (aplanes).

2\ Spores endogènes non flagellées.

Les spores non flagellées sont produites par les sporocystes, eux-mêmes, portés par des sporocystophores. On a trois types de sporocystophores :

- Type 1 : à columelle, contient de nombreuses spores.
- Type 2 : sans columelle, à nombre limité de spores.
- Type 3 : le sporocyste ne contient qu'une spore. La paroi du sporocyste se confond avec la paroi de la spore ➔ sporocyste conidioïde.

3\ Spores exogènes ou conidies.

Ces spores se forment directement sur les thalles (septés) : les spores sont inféodées au vent ou aux insectes.

Elles peuvent se former en chaîne et donner un filament court qui émet des conidies les unes à la suite des autres.

Ces spores peuvent aussi provenir de phialide. La phialide est une partie qui bourgeonne itérativement des conidies. La formation de conidies dans des phialides en goulot donne des endoconidies.

Les conidiophores enfermés dans un stroma sont des pycnides. Au fur et à mesure de leur formation, ils seront libérés. Ce fonctionnement ne concerne que les ascomycètes.

III\ La reproduction sexuée.

A\ Les générations morphologiques.

1\ La multiplication végétative.

Le gamétophyte peut donner des gamètes haploïdes ou bien des spores équationnelles.
Le méiosporophyte donne des méiospores ou des spores équationnelles.

2\ La reproduction sexuée.

Un cycle digénétique isomorphe présente deux générations identiques. Un cycle digénétique hétéromorphe présentera deux générations distinctes morphologiquement.

a\ Cycle monogénétique haplophasique.

On observe un gamétophyte haploïde.
Les gamètes vont fusionner pour donner un embryon qui subit immédiatement la méiose et donne quatre cellules (spores) qui pourront subir des phases de multiplication végétative.

b\ Cycle monogénétique diplophasique.

Il y a formation d'un embryon par une fécondation. Celui-ci pourra subir deux phases de reproduction sexuée. Des cellules spécialisées vont subir la réduction chromatique et immédiatement fusionner (fécondation).
On observe un méiosporophyte diploïde.

c\ Cycle trigénétique haplodiplophasique.

La réduction chromatique donne des spores qui restent à l'état haploïde sans fusionner. Elles peuvent rester en l'état durant un long moment. Quand elles fusionnent, elles donnent une espèce diploïde. Dans la seconde partie du cycle, on peut observer des étapes de multiplication végétative. La troisième phase comprend la fin de l'individu diploïde qui subit la réduction chromatique.
Suivant le moment de la méiose et de la fécondation, on distinguera des phases nucléaires.

3\ Exemples de cycles.

a\ Allomyces arbusculus.

La fécondation, une planogamie, donne un planozygote qui va se poser, puis germe. En germant, il y a formation d'un nématothalle qui libère directement des zoospores diploïdes. Indirectement, il peut y avoir libération de zoospores haploïdes par l'intermédiaire d'un sporokyste (avec réduction chromatique).
Le cycle est isomorphe.

b\ *Saprolegnia monica*.

La reproduction sexuée se fait par des sporocystes qui libèrent des zoospores flagellés (polyplanétisme). La fécondation est une oogamie siphonogame.

Le thalle, diploïde, va former des organes de reproduction : les oocystes chez les femelles (contiennent des oosphères) ou des spermatocystes chez les mâles (fécondation par les noyaux).

La fécondation donne des zoospores à 2N qui vont germer et donner un thalle diploïde.

c\ *Plasmopara viticola*.

Dans le gamétophyte femelle, on ne trouve que des noyaux. Un seul œuf est formé.

d\ *Mucor mucedo*.

Les spores haploïdes, servant à la multiplication asexuée, sont disséminées par le vent.

Quand il y a rencontre de deux gamétophytes compatibles, deux gamétocystes vont fusionner (caryogamie). On obtiendra alors, dans la zygospore, un seul noyau, diploïde, suspendu entre un suspenseur et le gamétocyste.

La zygospore, par réduction chromatique, donne deux spores + et deux – (haploïdes).

e\ Les Ascomycètes, *Peziza*.

Le thalle est haploïde, septé : c'est un mycélium primaire.

L'organe femelle est un ascogone (une cellule renflée, terminée par un poil, le trichogyne). Les organes mâles sont les anthéridies (réalisent la fécondation par les noyaux).

Une fois l'ascogone atteint, on ne voit pas de fusion des noyaux : il y a mise en place du syncarion.

Il y a formation de dangeardies par le phénomène du crochet. L'asque est le méiosporocyste.

Le cycle est digénétique haplodiplophasique. Le gamétophyte débute le cycle.

Pendant la formation des asques, il y a migration des noyaux vers le haut. A la base, il y a mise en place de vacuoles qui poussent les noyaux : il y a formation d'une vésicule ascale à la périphérie du plasmalemme.

Après la mitose, cette vésicule (ascale), se fractionne pour donner la membrane plasmique de chaque future spore. Les ascospores sont endogènes.

La libération de ces spores va se faire par éclatement de la structure de l'asque. La paroi est formée de deux tuniques : la tunique externe est l'exoascus (tunique hydrophobe, rigide), la tunique interne est l'endoascus (tunique mince, lipophile, souple).

On trouvera des asques bituniqués (ils ont deux tuniques visibles après coloration) ou des asques unituniqués (les tuniques sont collées et l'on n'en voit qu'une).

Les différents mécanismes d'ouverture des asques sont :

- Jack in the box : Les vacuoles poussent et font craquer la tunique externe. La tunique interne va sortir. Ce moyen d'ouverture est typique des asques bituniqués.
- Eclatement.
- Ouverture par anneau.
- Ouverture par clapet.

f\ Les hémibasidiomycètes : *Puccinia graminis*.

Puccinia donne la rouille du blé.

Le cycle est trigénétique.

Le cycle commence avec un gamétophyte qui va infester l'épine vinette. On trouve un épithélium haploïde sur la face supérieure (gamétophytes mâles) ainsi que sur la face inférieure (gamétophytes femelles).

Les spermaties (non flagellées, immobiles) sont libérées avec une goutte de miellat pour attirer les insectes. Il y a mise en place d'hyphes flexueux pour récupérer les spermaties (d'origine différente).

Ces hyphes flexueux sont en contact avec des écidies (appareil femelle). Les spermaties se collent à l'hyphe. Le noyau mâle entre et descend vers le noyau femelle. Il va y avoir formation d'un dicaryon avec mitoses successives et bourgeonnement (les écidiospores).

Ces écidiospores vont infecter un deuxième hôte (le blé) et former un mycélium dicaryontique. Au bout d'un moment, il va y avoir différenciation des urédosores qui vont émettre des urédospores. Ces urédospores sont des cellules rondes à paroi épaisse, avec deux noyaux, et reliées à la feuille par un pédicelle. Les urédosores sont des zones de regroupement des urédospores.

A la fin de l'été, le mycélium forme un nouveau type de spores : les téleutosores (taches noires) où l'on trouve des téleutospores. Ces spores sont pédicellées avec deux noyaux qui subissent la caryogamie.

Au printemps, il y a émission d'un filament (boyau) où un noyau diploïde passe à l'intérieur. Il y a dans le boyau, formation de quatre gamètes haploïdes (méiosporocystes = basides). Chaque noyau est isolé par une cloison transversale.

Chaque cellule à noyau haploïde bourgeonne une petite cellule où vient le noyau : les basidiospores. Ces dernières formes sont légères et vont réinfecter l'épine vinette.

La première génération est un mycélium haploïde.

La seconde génération est composée des écidiospores et des urédospores.

La troisième génération comprend les téleutospores et les basides (ou méiosporocystes).

g\ Les basidiomycètes, *Coprinus comatus*.

La fécondation est une somatogamie.

Le mycélium primaire (haploïde) va faire une fécondation sans différenciation d'organes sexuels : il y a fusion de thalles complémentaires (→ plasmogamie). Il y a formation d'une cellule à dicaryon (pas de fusion). Il vient ensuite une anse d'anastomose (≈dangeardie). Il va y avoir une succession de cellules à dicaryon : le mycélium reste marqué par la bouche mycélienne, c'est le filament secondaire. C'est ce filament secondaire qui va former le carpophore.

Au pied, il reste une membrane venant de la collerette qui se déchire : la volve. Au-dessus de cette volve, on trouve une cicatrice (un anneau).

Les lamelles sont des filaments dicaryontiques. Ce sont aussi des zones fertiles. Elles constituent l'hyménium :

- Cystites (réserves)
- Cellules sécrétrices (donnent du latex)
- Basides (cellules où a lieu la caryogamie).

Dans les basides a lieu la méiose et donne quatre cellules à N qui donneront quatre pointes (les stérigmates) où vient migrer un noyau. C'est une basidiospore qui va germer en un mycélium haploïde. Sur les quatre basidiospores on trouve deux cellules + et deux cellules -.

Chez les Auriculariales, le thalle est cloisonné. On a les basides en position latérale puis émission d'un long boyau d'où sortent les basidiospores.

Les Urédinales et les Auriculariales ont des archéobasides. Les Tremellales ont des hétérobasides. Les Agaricales ont des basides typiques.

→ Les champignons montrent des formes très originales :

- On trouve des caryogamies différées.
- Il y a absence de gamètes mâles. Ils sont remplacés par des conidies (spores de multiplication végétative).
- Il peut y avoir autogamie, avec deux gamètes femelles.
- La somatogamie est une fusion de deux thalles qui donne un mycélium à dicaryon.

B\ Homothallisme et hétérothallisme.

IV\ L'hétérotrophie.

A\ Hétérotrophie vis à vis de l'azote.

Parmi les autotrophes, on peut trouver des levures, qui, dans certaines conditions, vont pouvoir utiliser l'azote atmosphérique. Des mycètes comme *Aspergillus niger* et *Mucor mucedo* vont absorber de l'azote nitrique

D'autres individus sont appelés semi-hétérotrophes (Mucor sp., des levures) et sont caractérisés par une consommation d'azote ammoniacal.

Les hétérotrophes peuvent être des saprophytes comme *Saprolegnia*, des symbiotiques comme les champignons lichénisants, des parasites comme *Phytophtora, Plasmopara* ou bien des prédateurs comme *Dactylella acrochaete*. Ces individus consomment de l'azote organique.

B\ L'hétérotrophie vis à vis du carbone.

1\ Le saprophytisme.

On peut trouver trois types de pourriture :
- Pourriture cubique.
- Pourriture fibreuse.
- Pourriture alvéolaire.

2\ Le parasitisme.

Comme type de parasitisme, on peut citer la graphiose de l'orme (maladie de l'orme champêtre), la maladie de la pomme de terre irlandaise.

Ce parasitisme peut s'effectuer par une effraction tissulaire et même parfois, cellulaire (avec la formation de suçoirs). Elle peut aussi se présenter par une action biochimique avec la sécrétion d'enzymes, de toxines, de substance de croissance. Ces actions provoquent un flétrissement (les toxines) ou un gigantisme (substances de croissance).

On trouve champignons parasites de faiblesse.
Ces champignons se développent sur une plante même quand elle est morte : ce sont des nécrotrophes ou bien saprophytes. Il existe différents types de biotrophie avec aussi des développements sur des plantes vivantes. Ce sont des parasites forts ou obligatoires.

Les différentes étapes nécessaires à une infection :

- Reconnaissance de la plante par échange de signaux biochimiques. On trouve des spectres étroits ou bien plus larges. (spectre étroit pour les parasites forts et large pour les parasites faibles).
- Attachement à la surface de la plante.
- Effraction tissulaire.
- Développement interne, avec effraction cellulaire possible.
- Troubles chez la plante.
- Reproduction du champignon.

a\ L'adhésion.

Cette adhésion se fait par sécrétion d'un mucilage de polysaccharides et de glycoprotéines sous le tube germinatif. Il va y avoir synthèse d'enzymes pour dégrader l'épiderme de la plante.

b\ La pénétration.

La pénétration peut se faire par voies naturelles (comme les stomates) et dans ce cas, il n'y a pas de différenciation d'un tube germinatif, au niveau de l'épiderme ou des racines, ce qui est une pénétration directe. Dans ce dernier cas, il va y avoir mise en place d'organes particuliers (actions mécaniques) et libération d'enzymes pour dégrader la paroi (actions chimiques).

Pour l'action mécanique, il va y avoir renflement du tube germinatif (ou appressorium) : la pression osmotique du champignon est plus forte que celle de la plante afin d'y résister.
Il va ensuite y avoir formation d'un filament fin (point d'infection) duquel partent des filaments infectieux qui portent les suçoirs (*Haustorium*).
➔ Ce sont les structures infectieuses.

Les champignons à appressorium mélanisés vont renter sans problème. Les formes à appressorium muté ne rentrent pas. La mélanine permet l'accroissement de la pression pour la pénétration.

Lors de l'action chimique, la formation du tube germinatif entraîne la formation d'un mucilage, d'enzymes hydrolithiques pour la dégradation de l'épiderme de la plante (cutinases, lipases, cellulases…) Il va y avoir une diminution de la paroi du végétal.

La pénétration mécanique par les racines.
Deux cas existent pour cette pénétration : coussins d'infection et rhizomorphes.

Les coussins d'infections sont des agglomérations d'hyphes d'où partent plusieurs points d'infection (les coins d'infections). Ils partent en parallèle et attaquent la plante.
Les rhizomorphes sont des extensions gélatineuses qui permettent l'adhérence. Ce sont des émissions latérales qui pénètrent car ce sont des filaments agglomérés.

Une fois à l'intérieur, deux cas sont possibles :
- Nécrotrophe : il y a dégradation des parois du végétal puis des parois cellulaires. Les filaments s'insinuent dans toutes les fentes mais provoquent aussi la mort de la plante.
- Biotrophe : Les filaments migrent dans la plante, au niveau de la lamelle moyenne. Seuls les suçoirs entrent dans les cellules. Ces derniers permettent aussi la fixation.

Chez Oïdium, champignon externe, les suçoirs forment des structures d'adhésions.

Les toxines vont provoquer un flétrissement de la plante. Les substances de croissance, provoquent elles, un gigantisme mais aussi un nanisme et une castration sont possibles.

3\ L'endophytisme.

L'endophytisme est entre le parasitisme et la symbiose. C'est un cas qui provoque peu de dégâts.

a\ Chez *Claviceps*.

L'infestation ne provoque aucun symptôme, sauf à la floraison où dans l'ovaire, le stroma donne des conidies. Le stroma va se différencier en sclérote qui tombe au sol. Là, il se développe des structures de reproduction sexuée.

b\ Chez *Epichlöe triphina* (la quenouille de graminées).

Il va se former un stroma blanc autour de la tige. C'est là où sont les structures de reproduction.

c\ Chez *Sphacelia tryphina*.

Ce champignon est responsable de l'ivraie enivrante. Il se développe des graines qui donneront une plantule avec le champignon. Les nouvelles graines porteront toujours le champignon.

Les animaux qui consomment ces graminées auront des malaises et autres symptômes similaires car ces champignons synthétisent des alcaloïdes.

4\ Les symbioses.

On distinguera deux cas de symbioses : la symbiose par les mycorhizes ou par les lichens.

Les mycorhizes se trouvent chez les ascomycètes, les basidiomycètes ou chez les zygomycètes (Glomales, la reproduction sexuée est diminuée).

Dans le cas de l'ectomycorhize, le champignon se développe à l'extérieur ; il ne se trouve jamais dans les cellules ; il provoque des modifications morphologiques des racines ; il se développe autour des racines.

Dans le cas de l'endomycorhize, le champignon ne montre pas de développement important à l'extérieur ; il entre à l'intérieur des cellules ; il n'entraîne pas de modifications importantes des racines.

a\ L'endomycorhize (Les Glomales).

Les glomales sont uniquement symbiotiques. On trouve quatre familles : *Glomus*, *Gigaspora*, *Sclérocystis*, *Acannospora*.

Une spore va germer et donner, à l'extérieur, un filament et un appressorium (comme chez les parasites). Il se forme des arbuscules dans les cellules végétales (≈ suçoirs). Dans certaines familles comme *Glomus*, il y a formation de grosses vésicules contenant des réserves pour le champignon : les méats.

Les arbuscules sot des surfaces d'échange entre le champignon et la plante (*Gigaspora*).

La plante va former une matrice extra-fibrillaire pour empêcher la prolifération des arbuscules (durée de vie : 3-4 jours).

Les mycorhizes d'Ericaceae.

La racine est fine à petit diamètre et simple (cortex, endoderme, pôle ligneux). La colonisation du champignon ne se fait que dans les cellules corticales. Les racines mycorhizées vont dégénérer au fur et à mesure.

b\ L'ectomycorhize.

Cette forme de symbiose fait intervenir les basidiomycètes et les ascomycètes (*Tuber melanosporum*).

Il va y avoir formation d'un réseau extra-matriciel (mycélium dans le sol) et d'un réseau interne (réseau de Hartig). Il n'y a pas de pénétration intracellulaire (reste dans les méats).

La racine va se transformer.

Le réseau de Hartig est une surface d'échange entre le champignon et la plante.

c\ L'ectendomycorhize.

Les mycorhizes à Orchidée.

Un basidiomycète dont la forme végétative est Rhizoctonia va coloniser les racines adultes et l'embryon (dépourvu de réserves). La colonisation de l'embryon permet sa germination. Il faut un équilibre entre la phagocytose et le parasitisme pour que l'embryon puisse atteindre la germination.

➔ C'est un état de parasitisme contrôlé pour une vie commune.

Cette ectendomycorhize est un type intermédiaire.

Il y a formation d'un manchon et une pénétration intracellulaire.

d\ Conclusion sur les symbioses.

La symbiose permet aux champignons d'obtenir des synthétats, source de carbone. La plante, grâce au champignon, peut aller chercher l'eau et les sels minéraux (P, Cu, Z, S) beaucoup plus loin.

Certains champignons vont même jusqu'à récupérer des ions comme NO_3^- et bien d'autres pour que la plante puisse se développer sur de mauvais milieux.

Il y a aussi l'action des hormones de croissance.

Les Herbacées sont endomycorhizables alors que les Arbres sont ectomycorhizables.

5\ La place des champignons dans la biosphère.

Les saprophytes permettent la dégradation des plantes mortes et vont former l'humus et donc, améliorer les sols.

L'endomycorhize permet l'accroissement de l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

Les cellules lignivores participent à la nutrition des herbivores.

Les parasites participent à l'équilibre des populations végétales.

V\ La symbiose lichénique.

Un lichen est une association stable entre une algue et un champignon qui donne au final, un nouvel individu.

Les lichens sont des organismes polyphylétiques. Ils sont apparus à 5 reprises dans l'évolution. Les plus vieilles formes ont environ 400 millions d'années (au Dévonien). On en connaît 25 000 espèces.

Le partenaire fungique est appelé « mycobionte ». Ce sont essentiellement des ascomycètes (et souvent des Pyrénomycètes et des Discomycètes). On trouve tout de même 1% de basidiomycètes. 13250 espèces de champignons sont lichénisantes.

Chez les algues, photobiontes, on trouve 40 espèces lichénisantes. Exemple : *Trebouxia*, *Pseudotrebouxia*, *Trentepholia*, *Nostoc*.

A\ Les diverses formes de lichens.

1\ Les lichens gélatineux.

Ces lichens sont homomères. Les hyphes sont mélangés aux cellules des algues. Ils sont homogènes dans le désordre (en général, Ascomycètes + *Nostoc*).

2\ Les lichens secs.

Ces lichens sont toujours organisés en strates. Ils sont appelés hétéromères (structure hétéromère stratifiée sauf chez les lichens fructiculeux). Parmi eux, on trouve :

- *Les lichens secs crustacés* : Ces lichens sont sur les rochers (rupicoles), les trottoirs. Ils sont complètement dans leur substrat. De l'extérieur (air) vers l'intérieur (contre le substrat), on trouve : un mycélium (le cortex), une couche gonidiale et une médulla arachnoïde.
- *Les lichens secs foliacés* : Ces lichens sont sur toute la longueur du substrat. De l'extérieur vers l'intérieur, on trouve : un cortex supérieur, une couche gonidiale (cellules algales), une médulla arachnoïde et un cortex inférieur avec des rhizines.
- *Les lichens secs fructiculeux* : Ces lichens fructiculeux pendent des branches d'arbres. Ils ne sont appliqués au substrat que par un point. Ils ont, en coupe, une forme relativement cylindrique. L'extérieur vers le centre, on trouve : un cortex supérieur, une couche gonidiale (avec cellules algales), une médulla arachnoïde puis une chondroïde. Ces lichens ont une structure radiée.

3\ Le thalle secondaire.

Ce thalle secondaire est appelé **podétion**.

En coupe, un podétion présente : un cortex supérieur, une couche gonidiale, une médulla arachnoïde creuse, une médulla chondroïde et une lacune centrale.

Les **cyphelles** sont des trous pour l'aération de la couche gonidiale.

Les **céphalodies** apparaissent quand deux lichens sont superposés. Un champignon, une chlorophycée et une cyanobactérie. On a donc un thalle à cyanobactérie et un thalle à chlorophycée ainsi qu'un double champignon. Il peut y avoir fixation d'azote atmosphérique grâce aux cyanobactéries.

B\ Les structures de multiplication et reproduction.

Les pycnides. Ce sont des structures de multiplication du champignon qui forment et libèrent des conidies.

Les isidies. Ce sont des structures dressées, ramifiées à la surface du thalle. Elles forment de petits cylindres constitués d'algues, entourés de filaments mycéliens. Elles sont détachables au vent.

Les sorédies. Les sorédies sont des cellules d'algues individuelles, entourée d'hyphes regroupés dans une soratie.

Le champignon, seul, possède des structures de reproduction :

- Des **apothécies** si ce champignon est un discomycète. Elles sont sur les bords du thalle et forment un petit sillon convexe ou concave.
- Des **périthèces** si le champignon est un pyrénomycète. Elles prennent la forme d'une urne, seule, ou en groupe (se trouvent surtout chez les lichens crustacés).

Quand on a un asque, une ascospore doit rencontrer une algue, sinon, elle meurt. Si elle tombe sur une surface humide et que le thalle est blessé, il y aura symbiose dans le cas d'une rencontre avec une algue compatible.

Croissance et longévité.

Les crustacés ont une croissance de 2 à 3 millimètres par an. Les autres lichens ont une croissance comprise entre 3 et 4 centimètres par an.

La croissance est composée de plusieurs phases :

- Phase I : croissance optimale.
- Phase II : phase de maturation.
- Phase III : phase de dégénérescence (au centre) alors que l'on observe une croissance de l'extérieur.

Si le lichen est affaibli (par la pollution par exemple), il pourra y avoir installation d'un parasite.

Contre ces parasites, les lichens vont former des zones encerclantes et synthétiser des antibiotiques et des substances métaboliques secondaires (les acides lichéniques).

C\ La symbiose lichénique.

1\ Symbiose contre parasitisme.

Le champignon absorbe les photosynthétats de l'algue. Celui-ci amène l'eau, protège de la dessiccation, des UV et du broutage par les herbivores grâce aux acides lichéniques.

2\ Le parasitisme.

Dans ce cas, c'est le champignon qui va parasiter l'algue : on parle d'hélotisme. L'algue est prisonnière dans le champignon. Il y a inhibition de sa reproduction sexuée et sa photosynthèse est modifiée en quantité et en qualité.

3\ L'algue parasite le champignon.

Les céphalodies sont considérées, par certains, comme des galles. On observe des réactions de défense du champignon contre l'algue.

➔ En fait, on observe un état d'équilibre et des relations mutualistes.

L'antagonisme du champignon est compensé.
➔ Il y a synthèse d'un nouvel individu : le LICHEN.
La somme du champignon et de l'algue fait apparaître des propriétés propres aux lichens.

4\ Relation morphologique entre algue et champignon.

On distingue trois types :
- Cohabitation sans contact entre les cellules de l'algue et celles du champignon.
- Le champignon enserre l'algue. Pour cela, il va former des crampons.
- Haustorium. Si l'algue est une cyanobactérie, le champignon peut entrer dans le mucilage, mais pas dans les cellules. Si l'algue est une chlorophycée, le champignon peut faire un Haustorium qui entrera dans la chlorophycée.

5\ Relations biochimiques.

Les algues fournissent les photosynthétats (1/3 dans le cortex et 2/3 dans la médulla).
Quand le champignon récupère les sucres, il va les transformer en sucre-alcool (ribitol, mannitol…). Ces sucres modifiés permettent le maintien d la turgescence du lichen et le protège d'une dessiccation trop élevée.
Les champignons vont synthétiser des métabolites secondaires (antibiotiques et acides lichéniques). Ces acides vont intervenir dans la régulation du nombre de cellules d'algue (en le faisant diminuer). Toutefois, ils protègent aussi les algues contre les UV et contre la dessiccation. Les champignons interviennent aussi dans la protection contre les métaux lourds.

La classification est basée sur la classification des champignons, puis sur les modes de reproduction…

D\ Les lichens dans leur milieu.

Les lichens ont une teneur en eau très faible (2 à 10% du poids sec du lichen). S'ils se dessèchent, il y a diminution de la photosynthèse. Le cortex va alors s'épaissir, devenir opaque et l'algue ne reçoit plus d'UV. Ils peuvent toutefois se réhydrater très vite : poïkilohydre. Il y aura alors reprises des fonctions métaboliques. Le cytoplasme doit être résistant.
Il n'y a photosynthèse que durant les premières heures d'ensoleillement. Dès que le climat devient trop sec, il y a arrêt de la photosynthèse. Ce qui explique la lente croissance des lichens.
Les lichens sont quand même capables de coloniser des milieux extrêmes : on les trouve dans la toundra, dans l'antarctique (350 espèces de lichens contre deux espèces deux plantes vasculaires). ➔ Ce sont des pionniers.

Les facteurs écologiques pour l'installation des lichens :
- Types de substrats (milieu, composition…)
- Climats (humidité, ensoleillement)
- Facteurs biologiques : animaux intervenant sur leur installation (déjection) et pollution humaine.

1\ Les lichens terricoles.

Ces lichens sont les plus soumis à des modifications de substrat. Ils sont sur l'humus, le calcaire, avec des végétaux, avec des débris organiques.

Si l'on se trouve dans des prairies semi-désertiques, on a une espèce de *Pormélia* (foliacée) qui va donner une espèce de *Cladonia* puis disparaître. *Cladonia* (Podétiée) donne à son tour 4 à 5 espèces nouvelles de *Cladonia* mais l'espèce d'origine disparaît. Sur ces 4 ou 5 espèces, 3 ou 4 vont disparaître et une survivra.

2\ Les lichens épiphytes.

On trouve des successions lichéniques différentes si le végétal est isolé ou en groupe (forêt). L'espèce du végétal colonisé intervient aussi. Les écorces lisses à pH alcalin hébergeront plutôt des lichens foliacés alors que les écorces rugueuses, à pH acide, hébergeront des lichens fructiculeux.

3\ Les lichens lithicoles.

On trouve différents lichens selon la nature chimique. A pH basique, on aura un lichen comme *Collema* alors qu'à pH acide on trouvera des crustacés.

On distinguera aussi des lichens calcicoles et des lichens calcifuges.

La nature chimique pourra être modifiée par l'humus, les déjections d'oiseaux (chargées en azote).

La nature physique pourra être modifiée par les caractères des failles.

4\ Les lichens aquatiques.

a\ Les lichens marins.

Ils sont sur les roches acides et en milieu marin. Ils sont différents en fonction des zones de balancement des marées.

Au niveau de la zone intertidale, on trouve *Verrucaria* qui forme une ligne noire.

Lichina forme une ligne brune avec les embruns, les marées, les équinoxes.

Calauplaca et *Xanthoria* forment une ligne orange.

b\ Les lichens d'eau douce.

Il existe des lichens émergés 6 mois par an, d'autres émergés seulement 3 mois par an et d'autres qui ne sont jamais émergés.

Les lichens n'ont pas le même système de filtration : pour cela, il y a utilisation des acides lichéniques.

Les pollutions par H_2SO_4 (ou d'autres polluants) peuvent tuer les lichens.

Sommaire du cours de Cormophytes.

Partie 1 : Diversité des cormophytes (bryophytes, ptéridophytes, spermaphytes).

I\ Evolution des végétaux.
- A\ Les thallophytes.
- B\ Les bryophytes.
- C\ Les ptéridophytes.
- D\ Les gymnospermes.
- E\ Les angiospermes.

II\ Evolution de l'appareil reproducteur.
- A\ Les bryophytes.
- B\ Les ptéridophytes.
- C\ Les gymnospermes.
- D\ Les pré-spermaphytes, exemple de *Ginkgo biloba*.
- E\ Les angiospermes.

III\ Les bases de la classification (classe, ordre, famille, genre, espèce).

IV\ Les bryophytes : classification, écologie, utilisation.
- A\ Les hépatiques.
- B\ Les mousses.

V\ Les ptéridophytes : classification, écologie, utilisation.
- A\ Les lycopodinées.
- B\ Les Equisetinées.
- C\ Les Filicinées.

VI\ Les gymnospermes.
- A\ Les Cycadophytes.
- B\ Les Ginkopsides.
- C\ Les Coniféropsides.
- D\ Les Taxopsides.
- E\ Les Gnétopsides.

VII\ Les angiospermes.
- A\ La classification des Angiospermes.
- B\ La classe des monocotylédones.
- C\ Les dicotylédones archaïques.
- D\ Les Eudicotylédones.

Partie 2 : Structures et modalités adaptatives des cormophytes.

I\ Introduction.

II\ Les rythmes biologiques.
- A\ Mode de végétation.
- B\ La phénologie foliaire.

III\ Les types écologiques.

IV\ Multiplication et dissémination sous forme végétative.
- A\ Multiplication par organes non spécialisés.
- B\ Multiplication par organes spécialisés.

V\ Reproduction sexuée et stratégie de pollinisation.
- A\ La répartition des sexes.
- B\ La Pollinisation.

IV\ Conservation et dissémination des graines.

- A\ Durée de conservation de la graine.
- B\ La dissémination de la graine ou du fruit.

V\ La fixation des plantes.

- A\ Le système racinaire.
- B\ Modes particuliers de stabilisation.
- C\ Les xérophytes, adaptation des racines.
- D\ Fixation en milieu aériens (lianes, épiphytes).



Biologie Végétale,
Cormophytes

Partie 1 :
Diversité des cormophytes (bryophytes, ptéridophytes, spermaphytes).

Le *cormus est l'appareil végétatif*, constitué d'une *tige différenciée*.

Les végétaux apparaissent il y a 2 milliards d'années. Les premiers « végétaux » sont les cyanophycées (chlorophylliennes). Grâce à la photosynthèse, elles permettent de faire diminuer la concentration en CO_2 et d'augmenter la concentration en O_2.

Il y aurait un milliard d'années seraient apparus les eucaryotes. On explique cette apparition par la **théorie de l'endosymbiose** : procaryote pris par un eucaryote. Les végétaux deviennent pluricellulaires, mais toujours marins.

La conquête du milieu terrestre a eu lieu vers –600 millions d'années. Il y a alors obligation de s'adapter : *modifications des organes reproducteurs et apparitions de vaisseaux conducteurs*. Peu à peu, apparaissent alors des plantes vasculaires (ptéridophytes : cryptogames vasculaires).

Le développement des fougères se fait surtout durant l'ère primaire. Elles seront remplacées, durant le secondaire, par les gymnospermes.

Il y a 130 millions d'années apparaissent les angiospermes (graine enveloppée). De –130 à –90 millions d'années, on assiste à un big-bang des angiospermes. A la fin du crétacé, c'est la domination des angiospermes qui dure jusqu'à l'actuel. Le succès des angiospermes est du aux facultés d'adaptation, de migration…

I\ Evolution des végétaux.

A\ Les thallophytes.

Des *algues unicellulaires*, on passe aux *algues pluricellulaires* avec apparition de thalle. Il n'y a *pas d'organe bien différencié* sauf chez les *laminaires qui ont des organes rudimentaires* avec spécialisation d'organes reproducteurs.

B\ Les bryophytes.

Chez les bryophytes apparaissent des organes permettant la conquête du milieu terrestre : **folioles** et **tige rudimentaire**. Ce sont les *premiers cormophytes*, bien que leur cas soit litigieux car ils n'ont *pas de racine mais des rhizoïdes*. Il existe encore des bryophytes à structure avec thalle.

C\ Les ptéridophytes.

Les **ptéridophytes** ont de **vraies tiges** avec des *vaisseaux conducteurs de sève* (➔ **trachéophytes**). Ce type de végétaux est *apparu dès le dévonien*. Il y avait des forêts constituées de *Rhynia* (disparus aujourd'hui). Ces derniers **ont des crampons mais pas de racine**. Il existait des **fungi symbiotiques** avec les *Rhynia* (→ **endomycorhizes**).

Le *Psilotum* ressemble aux Rhynia : ils présentent toujours un appareil conducteur mais avec une *tige simplifiée* : **le télome**.

Les *Lépidodendrons* constituèrent des forêts. Ils pouvaient atteindre une hauteur de 40 mètres. Ils ont eu une apogée au carbonifère.

Ce groupe présente une *grande diversité de l'appareil végétatif*.

D\ Les gymnospermes.

Les gymnospermes remplacèrent les ptéridophytes à la fin du primaire. Ils **sont uniquement ligneux**, avec un **développement de xylème secondaire** (→ « bois »). Au niveau du xylème, on trouve des *trachéides qui ont un rôle de transport et de soutien*.

E\ Les angiospermes.

Les angiospermes ont un développement maximal entre –130et –90 millions d'années. Il y a apparition de *vaisseaux dont le rôle est uniquement de conduire les sèves*. Il y a un **partage des tâches** (**vaisseaux** + **cellules à lignine**).

II\ Evolution de l'appareil reproducteur.

La **méiose** donne des **spores haploïdes** qui ne sont *pas directement des gamètes*. Les spores subissent donc une *phase de développement et de croissance*. Une fois apparu, le *gamétophyte produira des gamètes*.

Il y a donc développement d'un *gamétophyte qui est haploïde*. Il est *issu d'une méiospore* et *va produire les gamètes*.

Les *méiospores viennent du sporophyte* qui est *diploïde* et qui, en subissant la méiose, va donner les méiospores.

On trouve une *part respective au sporophyte et une respective au gamétophyte*.

A\ Les bryophytes.

La **partie visible, chlorophyllienne est un gamétophyte** (à N chromosomes).

Les *spores donnent un* ***protonéma*** (≈thalle) à courte durée de vie où se développent une *tige avec des rhizoïdes* (= **gamétophyte**).

Il y a *développement de gamétanges sur le gamétophyte* : ce sont les organes qui produisent les gamètes. Les *gamétanges mâles donnent les* **anthéridies** alors que les *gamétanges femelles donnent les* **archégones**. Selon les cas, les organes mâles et femelles sont portés par des pieds différents ou bien par le même pied. Les *anthérozoïdes sont les gamètes mâles*, ciliés. *L'oosphère est le gamète femelle*.

L'anthérozoïde est porté par une goutte d'eau, attiré par **chimiotactisme**. Il y a ensuite rencontre puis fusion des gamètes au sein de l'archégone : le développement du **sporophyte** est constitué par l'ensemble : **soie** + **capsule** + **coiffe**.

Ce sporophyte donne alors des méiospores et le cycle peut recommencer.

➔ C'est un **cycle digénétique, haplodiplophasique** avec une **dominance de la phase haploïde gamétophytique**.

B\ Les ptéridophytes.

Visuellement, **on observe le sporophyte** (à 2N). Sur la *face inférieure des frondes*, on a des **amas de sporanges**. Ces derniers donneront les **spores qui eux, donneront un gamétophyte** de quelques millimètres. Le *gamétophyte donne des gamétanges mâles et femelles*. Les gamétanges mâles forment des anthérozoïdes ciliés qui iront féconder l'oosphère. Il y a apparition d'un **zygote qui donne un sporophyte**. Ce dernier se développe sur le gamétophyte.

➔ C'est un **cycle digénétique**, **diplohaplophasique**, avec **dominance de la phase sporophytique** (homosporie et homo-prothallie).

Chez les *Sélaginelles*, il y a une *évolution supplémentaire*. A l'aisselle de certaines feuilles, on peut voir des *organes reproducteurs* : les *hétérosporophylles*.

Sporophytes → Microsporophylle → Microspores → Prothalle mâle → Gamètes mâles

Sporophytes → Macrosporophylle → Macrospores → Prothalle femelle → Gamètes femelles

Les gamètes mâles (anthérozoïdes) et femelles vont fusionner (fécondation) et redonner un sporophyte. Le **prothalle femelle** reste au niveau de au **niveau du sporophyte** (est donc *dépendant*) : C'est **l'endoprothallie**.

C\ Les gymnospermes.

Les *gymnospermes sont des arbres à 2N chromosomes*. *Ils présentent des macrosporophylles ou des microsporophylles*. L'appareil femelle est au niveau des « pommes de pin » ; l'appareil mâle est au niveau des organes mâles.

Les *macrosporanges sont formés par une enveloppe qui entoure la macrospore* → **l'ovule**. La macrospore va se diviser de nombreuses fois et donner **l'endosperme** où se forment les *archégones et les oosphères* (le *prothalle femelle est l'endosperme*).

Les **microsporophylles** donnent des **microsporanges** (*sacs polliniques*). Ils vont subir la **réduction chromatique** et donner des **grains de pollen** (= *prothalle mâle*).

La *fécondation* est réalisée avec *élaboration d'un tube pollinique* qui permet un *affranchissement du milieu aqueux*. Il va y avoir fusion des noyaux puis formation de la graine.

D\ Les pré-spermaphytes, exemple de *Ginkgo biloba*.

Le *Ginkgo* est appelé « *fossile vivant* » ; c'est une *espèce dioïque*.

La fécondation a lieu après la séparation de l'ovule avec la plante mère. *L'ovule et l'endosperme se développent sans qu'il y ait obligatoirement fécondation.*

Les *anthérozoïdes sont ciliés*. Ils entrent en contact avec l'ovule et pénètrent dans la chambre pollinique. La fécondation peut avoir lieu dès que l'ovule est tombé par terre.

Après la fécondation, il n'y a **pas de dormance**, mais développement.

→ *On trouve encore des anthérozoïdes ciliés et on note l'absence de tube pollinique*.

E\ Les angiospermes.

Chez les angiospermes, *la plante est le sporophyte à 2N*. Il va produire des spores qui vont se développer en microsporophylles (étamines) ou en macrosporophylles.

Les ***étamines*** *donnent des* ***microsporanges*** (**sacs polliniques**) qui *libèrent des* ***microspores***. Les ***macrosporophylles*** *donneront un* ***ovule*** *entouré d'un* ***ovaire*** *ou d'un* ***carpelle*** (l'appareil reproducteur).

Après une série de divisions, suivies de la méiose, le *gamétophyte mâle* (ou prothalle) *donne les grains de pollen* (ce sont aussi le gamétophyte). Ce gamétophyte est très réduit. La **paroi** est constituée de **deux parties** : **l'exine** et **l'intime**. *L'exine est résistante* et forme des ornementations qui permettent de déterminer les genres et familles de végétaux. A l'intérieur, on trouve **une cellule spermatogène et une cellule végétative**.

Au moment de la pollinisation, la **cellule végétative donnera le tube pollinique** et la **cellule spermatogène donnera deux noyaux reproducteurs** (deux spermatozoïdes).

Chez l'appareil femelle, le *carpelle se met en place avec une macrospore* qui se divise en *sacs embryonnaires* qui constituent le *prothalle femelle* (le gamétophyte femelle). Ce prothalle *reste inclut dans le sporophyte*. Dans la **partie supérieure**, on trouve **trois cellules** : les **antipodes**. Au **milieu**, on trouve **deux noyaux polaires**. A la **base**, on a **l'oosphère et deux synergides** (deux cellules proches).

Au moment de la fécondation, quand le tube pollinique atteint le sac embryonnaire, il y a **double fécondation**. Les deux anthérozoïdes pénètrent dans le sac embryonnaire. L'un d'eux va **fusionner avec l'oosphère** et *donner l'œuf embryon*. *Le second*, **fusionne avec les deux noyaux polaires** et donne une *cellule à 3N*.

➔ **C'est l'œuf albumen**.

La double fécondation est caractéristique des angiospermes. Elle permet l'obtention d'un **embryon et de réserves, synthétisées par l'œuf**.

L'ovule va évoluer en téguments (durcissement des téguments de la graine) et le *sac embryonnaire en embryon et albumen*.

L'ovule des végétaux est différent de l'ovule des animaux.

III\ Les bases de la classification (classe, ordre, famille, genre, espèce).

La classification vient de la nomenclature binomiale, officialisée par un suédois. Il a mis en place un système de classification, différent pour les végétaux et pour les animaux :

Pour les végétaux, **il y a prise en compte des appareils reproducteurs** (surtout des étamines).

➔ Ce système est artificiel car on regroupe des espèces qui ne se ressemblent pas au niveau végétatif.

Par exemple, les plantes grasses peuvent appartenir à des familles très diverses car leur appareil sexuel est distinct même si elles possèdent un appareil végétatif très comparable.

IV\ Les bryophytes : classification, écologie, utilisation.

Les bryophytes sont divisées en **deux groupes** :

- **Les hépatiques**. Ces plantes présentent une sorte de *lame foliacée ou une tige feuillée à symétrie bilatérale*.
- **Les mousses**. La *tige est foliée, à symétrie axiale*. Les **sporogones** sont bien développés.

A\ Les Hépatiques.

1\ Hépatiques à tige feuillée. (Ordre des Jungermanniales).

On observe une **symétrie bilatérale** car les *feuilles sont incluses dans un plan*. Elles vivent *dans les milieux humides* (environ 7500 espèces).

2\ Hépatiques à thalle. (Ordre des Marchantiales).

Exemple de *Marchantia polymorpha*.

Cette plante vit au bord des ruisseaux, des fontaines. L'appareil végétatif est constitué d'une **tige foliacée**. C'est une des premières plantes à recoloniser les sites incendiés. Elle peut se reproduire, soit par multiplication végétative, soit par reproduction sexuée.

- La multiplication végétative. Il y a **élaboration de corbeilles à propagules** (avec des *morceaux de thalle* qui seront disséminés par le vent ou par l'eau).
- La reproduction sexuée. Le thalle va former des **gamétophytes** qui donnent des **gamétanges** (les « parapluies »). Les gamétanges mâles donnent des *anthéridies qui vont féconder les archégones* produits par les gamétanges femelles. Cette **fécondation donne un sporophyte à 2N** *qui reste sous le « parapluie »*.

B\ Les Mousses.

Les **mousses** présentent une **symétrie axiale**. Elles sont regroupées en deux ordres principaux : les **sphagnales** avec *deux sortes de feuilles* et les **bryales** avec *une seule sorte de feuilles*.

1\ Les Sphagnales.

On ne trouve *qu'une famille*, les **Sphagnaceae**, et *un seul genre*, *Sphagnum* (sphaigne). Les espèces sont environ 300 et 35 sont présentes en France. Ce sont des *plantes typiques des tourbières*.

Ce sont les *Sphagnum* qui sont à l'origine de la tourbe.

Les tourbières sont un *biotope avec des eaux stagnantes*. Le milieu montre une minéralisation extrêmement lente de la matière organique. Très peu de végétaux peuvent coloniser ces milieux. Les *sphaignes ont une croissance apicale*. La partie inférieure de la tige se dessèche, meurt, mais reste présente et s'accumule. ➔ Il y a un *épaississement de la tourbe au fil du temps*. Les tourbières sont généralement présentes dans les milieux de hautes latitudes. Les tourbières sont riches en azote et le pH des eaux est acide.

Dans les tissus des Sphaignes, on distingue **deux types cellulaires** :

- *Des cellules allongées* qui vont donner un **réseau chlorophyllien**.
- *Des cellules particulières*, les **hyalocystes** (ou hydrocystes), qui sont de *grandes cellules mortes rigidifiées par un épaississement*. Elles ont la *capacité de se remplir d'eau* (par capillarité). → Elles sont l'explication de la qualité de réservoirs d'eau des sphaignes.

Les feuilles vont avoir un développement le long de la tige ou perpendiculaire à la tige.

2\ Les Bryales.

Les bryales sont divisées en **deux familles** : les **bryales acrocarpes** et les **bryales pleurocarpes**.

Chez les acrocarpes, les **archégones sont en position terminale**. *Chez les pleurocarpes*, les **archégones sont latéraux**, sur la tige. Ces dernières ont aussi, généralement, des tiges couchées, contrairement aux **acrocarpes qui ont des tiges dressées**.

La famille des polytriches ou des *Polytrichaceae*. Genre *Polytrichum*.

Les plantes de ce genre sont souvent de bons indicateurs des conditions d'un milieu. Par exemple :

- *Polytrichum commune* vit dans les milieux humides, voir tourbeux. Elle est d'assez grande taille.
- *Polytrichum juniperynum*. Cette plante est typique des sols secs, voir très secs.
- *Polytrichum formosum* est une espèce des milieux humides, qui se dessèche rapidement.

V\ Les ptéridophytes : classification, écologie, utilisation.

Les **Psilophytinées** sont des cas très primitifs. Il n'en reste **qu'un seul genre** (*Psilotum*).

Les **Lycopodinées**. Elles ont une *tige aérienne rampante et un aspect mousseux*. Elles existent aussi sous forme aquatique.

A\ Les Lycopodinées.

Elles ont des **sporanges regroupés à la base des feuilles**.

La famille des **Isoètes** est généralement immergée. Elles ont des *allures de graminées*. A la *base des frondes*, on a un *renflement* qui correspond au *sporange*. Ce denier donne un microsporange ou un macrosporange. Dans les deux cas, **le gamétophyte reste dans les feuilles**.

Chez certaines espèces d'Isoètes, il y a *peu de stomates* et la *cuticule est très épaisse* au niveau des feuilles. Le *CO_2 pour la photosynthèse est pris dans les sédiments*.

Tous les lycopodinées ont un aspect de mousse.

1\ Les lycopodiaceae.

Tous les sporanges sont semblables. Le genre *Lycopodium* est dominant. Les *sporanges sont regroupés à une extrémité et forment des épis*.

Ces plantes sont beaucoup utilisées en pharmacie ; pour les poudres de lycopodes, faites à partir des spores. Elles ont des propriétés adoucissantes et anti-inflammatoires. Elles sont aussi utilisées pour faire des pilules.

Au XVIIème et au XVIIIème siècle, les lycopodes étaient employés pour les feux d'artifices.

2\ Les Sélaginellaceae.

Les **sporanges sont à l'aisselle des feuilles**. Il va s'en différencier des macrosporanges et des microsporanges.

B\ Les Equisetinées.

La *tige souterraine porte des tiges aériennes, articulées, dressées*, avec des **feuilles verticillées**.

Les *Equisetaceae* sont un ordre des Equisetinées. On trouve par exemple *Equisetum arvena*, la **prêle**. Les **feuilles sont extrêmement réduites** et forment une **gaine autour de la tige** (articulée).

On trouve des **tiges fertiles** (*vernales et printanières*) qui *ont des sortes d'épis à l'extrémité, contenant des sporanges*. Les **autres tiges sont stériles**. Les deux types de tiges sont *riches en silice*.

C\ Les Filicinées.

Les **filicinées sont les fougères actuelles**. Elles n'ont **pas de feuilles mais des frondes**.

A l'intérieur, on peut distinguer les **Ophioglossaceae**, à *fronde solitaire* ; les **Polypodiaceae** à *frondes plus nombreuses* ; les **Osmundaceae** et les **Hydroptérydales**, *plantes aquatiques ou semi-aquatiques*.

1\ Les Ophioglossaceae.

Deux cas sont possibles.

- Soit, **une fronde entière** : c'est le genre *Ophioglossum*, relativement rare. Les plantes de ce genre mesurent 10 à 20 centimètres de haut et *poussent dans les prairies humides*. Elles sont *rares car les prairies humides sont rares*.
- Soit, on trouve **une fronde stérile découpée et une fronde fertile** avec des sporanges. C'est le genre *Botrychum*. Ces plantes mesurent 10 centimètre de haut et *sont en montagnes* (exemple : *Botrychum lunaria*). *Botrychum loceolatum* est une espèce disparue de France. En 1926, elle était observée dans toute la région du Mont Blanc. En 1943, il n'en restait qu'un seul pied. Elle a disparu à cause des botanistes. *Botrychum multifidum* est la plante la plus rare de France. Elle n'existe qu'en un endroit et présente un ou deux pieds tous les deux ans.

2\ Les Polypodiaceae.

Parmi les Polypodiaceae, on trouve la **fougère aigle** (*Ptéridium aquilinum*) qui existe sur les 5 continents. Ce sont des *plantes qui repartent après les feux.*

3\ Les Osmundaceae.

Osmunda regalis est la **plus grande fougère de France** : elle mesure entre deux mètre et deux mètre cinquante. Elle *pousse en milieu humide, au bord des ruisseaux*.

4\ Les Hydroptérydales.

Ce sont des **fougères aquatiques**.

La famille des Marsileacées, genre *Marsilea*. Les espèces de ce genre *ressemblent à des trèfles à quatre feuilles* mais n'en sont pas.

Il y a **existence de sporocarpes au niveau du rhizome** qui permettent la reproduction de ces fougères.

Exemple : *Marsilea quadrifolia strigosa*, est une espèce que l'on ne trouve que dans l'Hérault, avec seulement trois populations.

VI\ Les gymnospermes.

Les gymnospermes font parti de l'embranchement des spermaphytes. Ils n'ont **pas de fruit**.

Ce sont des **végétaux ligneux**, *souvent arborescents*. Toutefois, il existe des genévriers rampants, de 10 centimètres de haut.

Le limbe des feuilles est généralement peu développé : **petites feuilles en aiguilles ou en écailles**.

Les gymnospermes sont très minoritaires par rapport aux angiospermes. Toutefois, ce sont des arbres de ce sous-embranchement qui possèdent divers records :

- Record de hauteur : Séquoia, 120 mètres.
- Record de taille : Taxodium, 6 mètre de diamètre.
- Record de longévité : Pin de 4600 ans aux USA, *Pinus longaeva*.

Ce sous-embranchement est divisé en :

- **Cycadophytes** : *pré-spermaphytes*, avec Ginkgo.
- **Coniférophytes** : les *vrais gymnospermes sensus stricto*.
- **Gnétophytes** : ce sont des *clamidospermes*, des *intermédiaires entre les gymnospermes et les angiospermes*.

A\ Les Cycadophytes.

Chez les cycadophytes, il y a encore **zoïdogamie** : la fécondation peut encore avoir lieu alors que l'ovule présente déjà des réserves.

On se trouve chez des **espèces dioïques** (pied mâle **et** pied femelle).

La *« fleur » male constitue un cône*, constitué de centaines de **microsporophylles**. A la surface inférieure de ces microsporophylles, on trouve des **microsporanges** qui libèrent des **grains de pollen**.

Le *« cône » femelle* est constitué de **mégasporophylles** qui portent *à leur base, des ovules*. **Le cône femelle est l'équivalent de la fleur femelle des angiospermes**.

Au moment de la *fécondation, les grains de pollen nagent dans le liquide sécrété par l'ovule*. Après cette fécondation, il y a *développement embryonnaire, formation de la plantule* ➔ On n'a **pas de véritable graine car on n'assiste pas à une quelconque dormance**.

Les Cycadopsides.

Ordre : Cycadales ; Famille ; Cycadacées.

- Le genre des *Cycas*.

L'allure des Cycas est proche de celle du palmier. Ce sont des *plantes de petite taille* ; le *tronc est court* et *les feuilles sont pennées*.

Les Bennettitales.

Les bennettitales sont un *groupe de fossiles*, éteints au crétacé.

B\ Les Ginkopsides.

Les ginkopsidés sont des *arbres dioïques*. Les *étamines sont portées par un pédoncule*. La **fleur femelle est extrêmement réduite**. Les plantes de ce groupe *ont conservé une certaine dichotomie*.

C\ Les Coniféropsides.

1\ F : Pinales / O : Pinacées.

Ces végétaux ont des **feuilles en aiguilles alternes**. Elles sont en aiguilles ou linéaires, **généralement persistantes** (exception pour le mélèze).

Les **cônes femelles sont ligneux**. Les *macrosporophylles portent deux ovules*. Une écaille porte deux ovules, avec *une bractée indépendante de l'écaille*.

Cette bractée est importante car elle montre que cet ensemble correspond à une fleur. Le **cône femelle de pin est une inflorescence**.

Organisation de l'appareil végétatif.

Un *Abies* (sapin) montre une organisation différente de celle d'un cèdre ou d'un pin : on a trois types différents. **Les différences portent sur les rameaux et les feuilles**.

L'organisation la plus originale est celle des **pins**. Les *rameaux courts* (**brachiblastes**) portent les *aiguilles* (les **pseudophylles**) qui sont des **rameaux transformés**. *Les vraies feuilles sont sur les brachiblastes* (en **écailles**) mais **ne sont pas chlorophylliennes**.

Le genre *Pinus*.

- *Pinus sylvestris.*

Ce pin a une **écorce typique**. La **partie supérieure du tronc est orangée**. *Les pseudophylles sont de petite taille*. Les *cônes sont très petits*.

C'est une espèce majeure car **elle est l'espèce principale de la taïga** (forêts boréales de hautes altitudes). *Cela représente le tiers de la surface forestière mondiale*.

Un peu plus haut vers le nord, il n'y a pas d'arbre, c'est la toundra.

- *Pinus uncinata* (Le pin à crochets).

Ce pin porte de **petites aiguilles** et de **petits cônes**. Le tronc n'est jamais orangé. Au niveau des cônes, **l'écusson possède un crochet** (écusson recourbé en crochet).

Pinus uncinata est parfois introgressé avec *Pinus sylvestris* ➔ zones d'hybridation.

Pinus uncinata est uniquement *présent en haute montagne*. → Il **constitue la limite supérieure de la forêt** (entre 2,5 et 3 kilomètres).

- *Pinus cembra* (Le pin cembro ou arolle).

Ce pin est *caractéristique des alpes*. Il est reconnaissable car *il présente des pseudophylles aux brachiblastes*. Il monte jusqu'à 2,5km d'altitude. (*P. cembra* = *P. siberica*).

Les **graines de ce pin sont relativement lourdes** et ont donc un problème de dissémination. Les **oiseaux de type *Nucifraga*** *servent à leur dissémination* (80 à 90% des graines). Ils tapent sur les pédoncules et détachent les cônes de l'arbre qu'ils vont emporter à une certaine distance, sur une « enclume » naturelle. Ils décortiquent les cônes. Ils avalent les graines ou les stockent en les enfouissant par paquet, dans l'humus du sol. Il reste toujours des stocks oubliés qui permettront la germination de nouveaux individus.

- *Pinus longaeva* (USA).

Ces pins *se développent entre 3000 et 3500 mètres d'altitude*, dans les *environnements arides*. Le plus vieux des *P. longaeva* est âgé de 4767 ans. Le plus grand d'entre eux fait 11 mètres de circonférence.

Les aiguilles peuvent vivre une trentaine d'années, ce qui est une considérable *économie d'énergie* : **métabolisme restreint**. On observe que **peu de xylème** (bois) **est fonctionnel** : les besoins énergétiques sont donc moins importants. Ces arbres ne connaissent pas les invasions de bactéries, d'insectes, de champignons grâce à la **grande quantité de résine**. Ils sont très espacés les uns des autres et ceci leur permet d'avoir un **système racinaire très développé**.

Les *fleurs et les fruits ne sont formés que lorsque l'arbre est relativement âgé*.

- *Pinus pinaster* : le pin maritime.

Ce pin est **de couleur vert foncé**, **piquant et extrêmement gros**. Il existe à l'état spontané et a beaucoup été planté dans la forêt landaise. Cette forêt fait environ un million d'hectares (100km × 100km). C'est une forêt artificielle (à l'origine c'était une chênaie). Elle fut plantée au 19ème siècle. En 1945 et 1949 elle subit des incendies.

- Pinus halopensis (le pin d'Alep).

Ce pin est méditerranéen, adapté à ce climat. *Il est reconnaissable à ses aiguilles et son feuillage léger*. Les **cônes sont groupés par deux ou trois**. Les pins sont des espèces héliophiles.

- Pinus coultheri.

Ce pin présente des **cônes très longs**, *entre 30 et 40 centimètres de long*.

Le genre *Abies* (sapin).

• En France, on a une espèce spontanée : *Abies alba* aussi appelée *Abies pectinata*. C'est une espèce typique de l'étage montagnard (sapin et hêtre). Les sapins sont fréquemment utilisés pour faire des bateaux, d'où les diverses sapinières.

Remarque : En Andalousie, *Abies pinsape* pousse sur la sierra.

• *Picea abies* (Epicéa).

Cette espèce n'est pas spontanée dans les Pyrénées mais il en a existé il y a 20 000 à 30 000 ans. Les pessières sont des plantations d'épicéa (qui existent dans la montagne noire). L'épicéa est classique dans les alpes et les vosges.

Les différences entre l'épicéa et les sapins :

- Les **sapins ont des branches beaucoup plus horizontales**.
- Les cônes restant, s'ils sont entiers et allongés, proviennent sûrement d'un épicéa car les **cônes de sapins se désagrègent sur l'arbre** et il *n'en reste que des écailles*. Le **cône est dressé chez l'épicéa**, pendant chez les sapins.
- Le **feuillage montre deux ramifications latérales chez les sapins** et *six chez l'épicéa*.
- Les *rameaux ont un aspect rugueux chez l'épicéa* car il reste les coussinets qui portaient les aiguilles.

L'épicéa est comme le pin sylvestre, **typique de la forêt boréale (taïga)** : *les aiguilles d'épicéa restent vivantes en dessous de –30°C et peuvent assimiler jusqu'à –10°C.*

Dans les alpes, *l'épicéa* permet de donner des *populations clonales par marcottage* (multiplication végétative).

Le genre *Cedrus*.

- *Cedrus deodora* (Himalaya) ; *Cedrus atlantica* (Maroc, Algérie) ; *Cedrus libani* (Liban).

Les *caractères de différenciation des cèdres sont la longueur des aiguilles et la grosseur du cône*. Le cèdre du Liban n'existe plus que sur 70 à 80 hectares et a des problèmes de régénération.

2\ F : Pinales, O : Cupressacées.

Le genre *Juniperus*.

Les *cupressacées* sont à *feuilles opposées ou verticillées, en écailles ou en aiguilles/cône bacciforme ou arrondi-cubique.*

On trouve des **cônes en forme de baies**. Les **cônes charnus** (les **galbules**) sont caractéristiques du genre Juniperus. Les *écailles deviennent charnues*.

Le passage de ces galbules par le tube digestif d'animaux est obligatoire pour la dissémination.

- *Juniperus communis.*

Il possède des **feuilles en aiguilles piquantes**. On le trouve un peu partout. Ses *galbules sont bleutées à maturité*. La **feuille** montre **une bande de stomates**.

- *Juniperus oxycedrus.*

Il possède les mêmes **feuilles piquantes** que le genévrier commun. Une différence tout de même, on trouve **deux bandes de stomates et non une**. Les **galbules sont rouges**. Ce sont des plantes méditerranéennes. Elles servaient à faire de l'huile de cade.

- *Juniperus thurifera.*

C'est un arbre aux **dimensions impressionnantes**. Il participe à la constitution de la *limite supérieure de la forêt* (≈ 2800 mètres d'altitude). Ces *Juniperus thurifera* peuvent atteindre plus de 2 mètres de diamètre. Ils n'ont **pas de feuilles en aiguilles mais en écailles**, identiques aux feuilles de cyprès. Les **feuilles ne sont jamais alternes**. Le **cône est charnu**.

Le genre *Cupressus.*

Ce sont les **cyprès**. On trouve *Cupressus sempervirens* (dans les cimetières) ; *Cupressus dupreziana* qui n'existent que dans le sud de l'Algérie, il n'en reste que quelques centaines d'individus.

3\ F : Pinales ; O : Taxodiacées.

Exemple : *Taxodium distichum*. C'est le **cyprès chauve** : *il perd ses feuilles en hiver*. On note la **présence de pneumatophores** (racines aériennes).

D\ Les Taxopsides.

Le genre *Taxus.*

Ce genre est parfois classé avec les conifères, pourtant, il **n'a pas de canaux sécréteurs de résine**.

L'appareil végétatif est comparable à celui d'Abies. Par contre, la **graine est complètement différente** : *l'arille, enveloppe charnue rouge, porte la graine*.

C'est une espèce **très toxique** (des feuilles et des graines).

Le taxol en est extrait ; c'est une substance anticancéreuse. Elle est présente chez *Taxus breviflora*, dans l'écorce.

Chez *Taxus baccata*, le taxotère peut être isolé du feuillage et il est encore plus puissant que le taxol.

E\ Les Gnétopsides.

Ces **gnétopsides** sont *parfois complètement exclus des gymnospermes* et forment alors le *groupe des Clamidospermes*.

La *graine commence à être entourée par une sorte d'enveloppe*.

On y trouve **trois familles importantes**.

1\ Les Gnétacées ; genre *Gnetum*.

On trouve ces plantes dans les forêts tropicales humides. Leurs **feuilles ressemblent à celles d'angiospermes**.

2\ Les Ephedracées ; genre *Ephédra*.

On les trouve *sur l'arrière des dunes des plages*. Leurs **rameaux sont articulés**. Elles *peuvent être des espèces rupicoles* (poussant sur les rochers).

3\ Les Welwitschiacées ; genre *Welwitschia*.

Il n'existe ici **qu'un genre avec une unique espèce** : *Welwitschia mirabilis*.

Elle n'existe **que dans le désert du Kalahari** (au sud de l'Afrique) : milieu extrêmement sec. *L'appareil végétatif ne présente que feuilles dilacérées*. Elle peut aller chercher l'eau jusqu'à 75 centimètres de profondeur. Grâce à ses *deux feuilles, très larges, elle peut capter l'eau des rosées*.

VII\ Les angiospermes.

A\ La classification des Angiospermes.

Les analyses moléculaires ont montré que l'ancienne classification mettait ensemble des plantes sans grand rapport génétique.

On différencie maintenant les angiospermes en Eudicotylédones et Monocotylédones. *Certaines dicotylédones se sont retrouvées avec les monocotylédones*.

B\ La classe des monocotylédones.

On trouve **sept super-ordres**.

α\ Morphologie foliaire.

Dans la grande majorité, les **feuilles sont simples, à nervures parallèles**. Dans certains cas, on trouve des feuilles proches de celles des dicotylédones.

Les *dioscoréacées* et le palmier (*palmacées*) ont des *feuilles composées complexes*.

β\ Caractère embryonnaire et plantule.

Les monocotylédones n'ont **qu'un cotylédon**.

γ\ Anatomie.

Les **vaisseaux vasculaires sont nombreux** et répartis uniformément dans le cylindre central (= **atactostèle**).

Il n'y a **jamais de cambium**, donc **pas de formations secondaires** (enfin, presque jamais).

<u>Remarque</u> : *certaines dicotylédones sont aussi atactostèles* (les **Pipérales**).

δ\ Morphologie florale.

Les **fleurs sont généralement trimères**. **L'ovaire est supère, altère**.

Ce type de fleurs trimères existe aussi chez les magnoliales, dicotylédones primitifs, ne faisant pas parti des eudicotylédones.

ε\ Les apertures polliniques.

L'aperture pollinique est un *amincissement de la paroi* qui permettra la pollinisation. Chez les monocotylédones, les **sacs polliniques sont mono-aperturés**.

1\ Le super-ordre des Liliiflorae.

Ce super-ordre regroupe beaucoup de plantes ornementales et alimentaires. Avant on distinguait deux ordres : les Liliales (Liliaceae) et les Orchidales (Orchidiaceae).

Les **Liliales** ont des **fleurs actinomorphes**. Les *étamines* sont normales, *non soudées au gynécée*. La **graine est grosse**, avec **beaucoup d'albumen**.
Les **Orchidales** ont des **fleurs zygomorphes**. Les *étamines sont gymnostèmes* (soudées) et la **graine est minuscule**, **sans albumen**.

Les Liliales sont divisées en Iridaceae ou Amaryllidaceae (ovaire inférieur) et en Liliaceae (six étamines et ovaire supère).

a\ L'ordre des Asparagales.

<u>Exemple de la **famille des Agavaceae**</u>.

Cette famille contient des **yuccas** et des **agaves**. Avant, le yucca faisait parti des Liliacées et les agaves des amaryllidaceae. Ce classement était fait car **les yuccas ont un ovaire supère** et les **agaves l'ont infère**. Maintenant, ils sont regroupés car

- *L'appareil végétatif* est composé de *feuilles un peu grasses, épineuses, charnues*.
- *L'écologie* est assez proche : *milieu aride*.
- Ils *ont tous deux des formations secondaires*.
- Leur *garniture chromosomique est originale* : N=30.

→ La *position de l'ovaire* semble, dans ce cas, un *mauvais marqueur phylogénique*.

Les **agaves ont une unique floraison**. Après celle-ci, c'est la mort de la plante.
Le mescal est une boisson obtenue à partir de la sève de certains agaves.

b\ L'ordre des Dioscoreales.

Cet ordre est original dans les monocotylédones : les *feuilles sont différentes* des autres monocotylédones → **elles sont cordiformes**.
Les dioscoreales **sont presque toujours des lianes** (*plantes volubiles*). Les **espèces sont dioïques**.
<u>Remarque</u> : Sur 13500 genres de plantes à fleur, 7% des genres contiennent des espèces dioïques. Sur 240 000 espèces, 6% sont dioïques. Parmi les espèces dioïques, beaucoup sont des lianes.
Les dioscoréales contiennent **trois genres principaux**.

α\ Le genre *Tamus*.

<u>Exemple</u> : *Tamus communis*, « **l'herbe aux femmes battues** ». Cette plante a des *propriétés anti-contusions venant du rhizome*. Elle provoque des traces rouges si elle est appliquée sur la peau.

β\ Le genre *Diascorea*.

Les **fleurs mâles** sont composées de **6 tépales, 6 étamines**. Les **fleurs femelles** portent **6 tépales, six étamines vestigiales et un ovaire divisé en trois loges**.

On a une **trimérie** : 3+3 tépales.

γ\ Le genre *Borderea*.

Le genre *Borderea* est plutôt tropical. C'est une **plante rupicole**.

Les espèces de *Borderea* sont des survivances du tertiaire (climat tropical).

Elles **sont herbacées**, *perdent leurs feuilles* et laissent des *écailles sur le haut du bulbe*.

On trouve deux exceptions : *Borderea pyrenaica* et *Borderea chouardii* qui n'existent que dans les Pyrénées.

➔ Les dioscoreales comprennent environ 60 espèces.

L'Igname est utilisée pour la consommation (son tubercule) et pour la synthèse de DHEA (enzymes, protéines).

c\ L'ordre des Liliales.

Les **liliales** sont des **herbes vivaces**, possédant des **organes souterrains de réserves** (*rhizomes*, *bulbes* ou *tubercules*).

Au niveau de la **fleur**, par exemple chez les **muguets**, on a **6 tépales** (*3+3 tépales pétaloïdes*), **6 étamines** et **3 carpelles** à **ovaire supère**. La fleur est régulière : **actinomorphe**.

L'espèce *Fritillaria meleagris* présente une corolle en damier.

c1\ La famille des Liliaceae.

α\ Le genre *Tulipa*.

Toutes ces plantes sont des **espèces originaires du proche orient**. *Tulipa gesneriana* est la tulipe cultivée classique. On trouve quelques tulipes « sauvages » qui deviennent de plus en plus rares. Les tulipes cultivées ont été introduites au 16ème siècle.

Les formes sauvages sont différentes : elles sont soit indigènes, soit furent introduites plus tôt que l'espèce cultivée (invasion sarrasine, croisades…)

Les trois espèces suivantes sont des espèces menacées :

- *Tulipa platystigma* : il n'en reste que *quelques pieds dans les Hautes Alpes*.
- *Tulipa agenensis* : ce sont des *adventices des cultures*, c'est à dire, des plantes qui se développent en association avec les cultures (dans les champs cultivés). Cela correspondait à des pratiques culturales traditionnelles maintenant abandonnées. → *forte régression*.
- *Tulipa praecox* : c'est aussi une *espèce adventice*. Elles furent combattues car elles étaient trop envahissantes. Maintenant, elles sont *prêtes à disparaître*.

➔ Ce sont des **plantes liées à l'Homme**.

β\ Le genre *Lilium*.

Le lys.

c2\ La famille des Iridaceae (Iris, glaïeuls, crocus).

Les **Iridaceae** sont généralement des **herbes vivaces**, avec des **rhizomes**, des **bulbes** ou des **tubercules**. La *fleur peut être actinomorphe ou zygomorphe*. **L'ovaire est infère**. On **trouve 3 étamines et 3+3 tépales**. La fleur **d'Iris** a des **stigmates pétaloïdes**.

Exemple : *Crocus sativus* (le safran).

Le condiment correspond aux stigmates. La culture de cette plante est longue (une livre de safran = 35 000FF). Crocus sativus est originaire d'Asie mineure. Le safran était cultivé 500 à 600 avant JC. Il fut introduit en Europe par l'intermédiaire des conquêtes arabes. *La forme sexuée ne se reproduit que par multiplication végétative ➔ La fleur est stérile*.

Au moyen-âge, la fraude au safran valait la pendaison. Cette fraude se fait avec du carthame (*Cartamus*) car la fleur ressemble aux stigmates de safran.

c3\ La famille des Orchidaceae.

Les **orchidaceae** sont des **herbes terrestres ou épiphytes** (vivant dans les arbres). Elles peuvent être saprophytes.

La **fleur est zygomorphe**. On trouve **3+3 pétales** *dont un qui forme* **l'éperon**. L'éperon va avoir un *rôle dans la pollinisation*. Le *filet des étamines*, le *style*, le *stigmate sont soudés* et constituent le **gymnostème**.

Les grains de pollen sont groupés au niveau de **pollinies** (**deux**).

Les **graines sont minuscules, sans albumen** → La double fécondation ne fonctionne pas.

Il va y avoir **mycotrophie** : *symbiose avec un champignon qui permet le développement de l'embryon pendant la germination*. Le champignon concerné est du genre *Rhizoctonia*.

La graine est constituée d'environ 100 à 150 cellules indifférenciées, infestées par les filaments du champignon.

La *mycorhize est nécessaire pour la croissance de la plante* et aide le champignon par les apports de substances carbonées.

Les *pièces florales sont adaptées à la pollinisation entomophile* (par les insectes).

On trouve **deux groupes principaux** : **Orchis** et **Ophrys** (*un pétale ressemble à un insecte*).

D'un point de vue alimentaire, chez la vanille, la « gousse » vient du développement de l'ovaire infère.

2\ Le super-Ordre des Commeliniflorae.

a\ L'ordre des Poales.

La famille des Graminées (gramineae).

Les **graminées** ont une **tige particulière** (**chaume**) **creuse** sauf au niveau des nœuds. Elle est **cylindrique**.

Les **feuilles sont distiques** (*insérées sur deux rangs*). **L'inflorescence de base est un épillet**. L'épillet est un *ensemble de feuilles réduites, situées au dessus de deux pièces* (les **glumes**). Le **fruit** est particulier : c'est un **caryopse**, un *fruit sec indéhiscent où le péricarde adhère à la graine*.

Un certain nombre de formations comme les steppes, les savanes, les prairies, les pelouses et les pampas sont dominées par les graminées. **Ce sont souvent des formations de dégradation**.

Par exemple, dans le bassin méditerranéen, on a des steppes à Alfa (*Stipa stenacissima*) qui couvrent des millions de km^2. Cet Alfa sert à la fabrique de pâte à papier, de tapis… Dans les steppes, on a des touffes de graminées séparées (discontinues). Il y aurait des arbres dans ces zones (Afrique du nord) de plus les steppes sont sur-exploitées.

Les dunes littorales. Ce sont des dunes mouvantes avec une graminée bien adaptée : *Ammophila arenaria* (l'oyat). Ce sont des milieux peu dépendants du climat général. L'oyat va former un système de rhizomes très performant (réseau dans la dune) qui filtre et ralentie les mouvements des dunes.

Les pelouses calcaires sont des formations de dégradation, dominées par les graminées.

Les graines de graminées constituent l'essentiel des céréales. Le sarrasin (ou blé noir) n'est pas une graminée mais un Polygonacées (*Fagopyrum*), un dicotylédone.

La cane à sucre est *Saccharus officinarum* ; *Zea mais* est le maïs.

α1\ Le genre *Triticum* (les blés).

On trouve trois groupes différents.

- <u>Les engrains, *Triticum monococcum.*</u>

Ce sont les blés les plus anciens. Ils ont 2N = 14 chromosomes. Ils sont diploïdes.

- <u>Les blés durs, *Triticum durum.*</u>

Ils ont 2N = 28 chromosomes. Ils sont largement cultivés ; servent aux pâtes alimentaires.

- <u>Les blés tendres, *Triticum aestivum* ou *T. vulgare.*</u>

Ils ont 2N = 42 chromosomes. Ils sont utilisés pour la fabrication du pain.

Trois graminées sauvages seraient à l'origine de ce blé actuel, dont deux du genre *Aegylops*.

α2\ Le genre *Oryza*, le riz : *Oryza sativa*.

Le riz est l'espèce la plus cultivée après le blé. Environ 6000 variétés de riz sont connues. *Oryen glaberrima* est une espèce d'Afrique occidentale.

Le riz récolté est le riz paddy : c'est un caryopse (fruit) avec les glumes et les glumelles. Quand il n'y a que le caryopse, on parle de riz brun ; Le riz brun auquel on a enlevé le péricarpe est le riz blanc. Le péricarpe contient des vitamines A et B.

b\ L'ordre des Cypérales.

La famille des cypéraceae.

Les épis de cypéraceae sont généralement unisexués. Le genre principal est *Carex* (la laîche). On trouve aussi le genre *Cyperus* qui comprend des plantes de milieux humides (*Cyperus papyrus*).

3\ Le super-ordre des Areciflorae

L'ordre des Arecales

La famille des Palmae = Arecaceae.

C'est chez les Palmae que l'on trouve les palmiers. On trouve environ 2500 espèces.

Ils ont la taille d'arbres. Le tronc est formé par la soudure de la base des feuilles. Les feuilles sont dites palmées ou pennées.

Elæis guineensis est le palmier à huile.

Phœnix dactylifera est le palmier dattier (les dattes sont sur les pieds femelles). Dans les palmeraies cultivées, on trouve 90% de pieds femelles pour 10% de pieds mâles. Dans la nature, on trouve un équilibre de 50% de chaque sexe.

Le palmier nain (*Chamærops humilis*) sert pour fabriquer de la ficelle... Il est représentatif du thermo-méditerranéen : en dessous de Barcelone.

Le cocotier (*Coccos nucifera*) donne la noix de coco qui est une drupe dont la dissémination se fait par hydrochorie. Il sert aussi à donner le coprah.

4\ Conclusion sur les Monocotylédones.

Les monocotylédones ont des feuilles à nervures parallèles. La fleur est trimère.

Ils constituent une réussite extraordinaire au niveau morphologique, écologique (en biodiversité)… Par exemple, les Orchidaceae regroupent 750 genres différents et 18000 espèces distinctes.

Actuellement, les gymnospermes comprennent 800 espèces. A elles seules, les graminées présentent 660 genres pour 8000 à 10 000 espèces. Les cypéraceae comprennent 90 genres pour 4000 espèces.

Les monocotylédones sont un groupe très diversifié, avec de fortes divergences :

- Les Orchidaceae présentent une fleur élaborée (pour la zoogamie), des graines minuscules et innombrables, des graines fragiles.
- Les Poaceae montrent des fleurs petites, discrètes avec une grande quantité de pollen (anémogamie). Les graines sont albuminées, souvent solitaires. L'inflorescence est particulière (épis et épillets). Les graines sont résistantes.

C\ Les quatre ordres de dicotylédones archaïques.

Ces dicotylédones archaïques (ou paléoarbres/paléoherbes) sont regroupés avec les monocotylédones. Ils sont dits archaïques car ils ont un pollen uni-aperturé, des vaisseaux imparfaits, des fleurs encore trimères et une disposition spiralée des pièces florales.

1\ Super-ordre des Magnoliales, Ordre des Magnoliaceae.

Magnolia/*Liriodendron tulipifera*.

Ce sont des espèces, introduites en France, qui possèdent des caractères archaïques :

- Disposition spiralée des pièces florales.
- Anthères à filet large qui donne des étamines lamellaires.
- Le nombre des étamines est non fixé.
- Le carpelle donne un follicule (fruit déhiscent) qui continue sur une graine suspendue au funicule.
- Il n'y a pas de différenciation entre mes sépales et les pétales : que des tépales. Le périanthe est homochlamydé.
- On ne trouve que des trachéides : le bois est homoxylé, comme les gymnospermes. (les espèces à bois hétéroxylé ont des vaisseaux parfaits et des fibres).

2\ Les Iliciaceae.

On trouve Illicium anisatum : la badine ou anis étoilée.

3\ Les Laurales/Ordre des Lauraceae.

C'est une famille d'arbres ou d'arbustes odorants des régions tropicales ou sub-tropicales. Les feuilles sont simples. On trouve entre autre *Laurus nobilis*, le laurier sauce.

Remarque sur les autres "Lauriers" :

- *Nerium oleander*, le laurier rose fait partie des Apocynaceae ;
- *Virburnum tinus*, le laurier tin fait partie des Caprifoliaceae ;
- *Prunus laurocerasus*, le laurier cerise, fait partie des Rosaceae.

Ce sont des plantes triplostémones : trois fois plus d'étamines que le nombre de base. Les étamines ont un clapet. La feuille est tétramère (*Laurus nobilis*). *Persea americana* est l'avocatier ; donne les avocats qui sont des baies. *Cinnamonum verum* est le cannelier : *Cinnamonum camphora* est le camphrier.

D\ Les Eudicotylédones.

Les eudicotylédones sont aussi appelés angiospermes supérieurs.

On trouve parmi eux, des cas à caractères archaïques, comme : la spiralisation, la présence de tépales, des cas de trimérie et la dialycarpie.

→ L'évolution va dans le sens de la soudure des pièces.

1\ Les Ranunculales.

α\ Les Papaveraceae.

Les papaveraceae ont toujours du latex. Les fleurs sont tétramères, gamocarpellées.

Elles sont toujours herbacées et présentent deux sépales qui deviennent rapidement caduques.

Les quatre pétales ont une préfloraison chiffonnée.

L'ovaire est supère, uniloculaire à placentation pariétale.

Le fruit est particulier : c'est une pyxide. Il s'ouvre par des pores apicaux. La chélidoine (*Chelodonium majus*) a un fruit déhiscent, de type silique avec diminution du nombre de carpelles.

Coquelicot = *Papaver rheas* ; Pavot = *Papaver somniferum*.

L'opium est obtenu à partir d'une incision dans la capsule du pavot (trois semaines après la fécondation) : un latex va s'écouler et coaguler. On peut en faire de la morphine ou de la codéine. Si l'on rajoute deux groupements acétyles, on obtient de l'héroïne. Les graines de pavot sont consommables.

β\ Les Ranunculaceae.

Les ranunculaceae n'ont pas de latex. Les fleurs seront trimères ou pentamères et généralement dialycarpellées.

Ce sont des herbes pérennes (vivaces) ou annuelles. Les fleurs sont spiralo-cycliques : le périanthe a des pièces spiralées et/ou cycliques. Les fleurs sont actinomorphes ou zygomorphes (*Aconitum* est zygomorphe). Les ranunculaceae sont toujours dialytépales ou dialypétales/dialysépales.

On trouve de nombreuses étamines (polystémonie) en nombre non fixe.

Les carpelles sont plus ou moins nombreux ; l'ovaire est supère.

Les fruits sont des akènes ou des follicules.

Les ranunculaceae sont peu évoluées mais présente une tendance à la gamocarpellie (cas de *Nigella* : trois carpelles soudés) et à la diminution du nombre de carpelles.

Les plantes zygomorphes commencent à exister (exemple : *Aconitum*).

C'est une famille avec des plantes toxiques voir mortelles ; beaucoup de Ranunculus sont toxiques. *Aconitum vulparia* (aconit tue-loup) contient de l'aconitine (alcaloïde) dans les racines. Elle

est le cas le plus toxique en Europe. Toutes les parties de la plante sont toxiques. L'ingestion de 2 à 4 grammes de racines est mortelle.

L'Hellébore a des graines toxiques.

Le développement de nombreuses renoncules se fait en milieu humide.

2\ Les Caryophyllales.

Dans la graine, l'embryon est courbe, voir même enroulé, en fer à cheval. Il s'enroule autour des tissus de réserve ➔ centrospermales (= Caryophyllales).

De nombreuses espèces sont des xérophytes.

On trouve aussi des plantes halophytes, comme la famille des chénopodiaceae.

α\ Les Cactaceae.

Les cactaceae sont une famille presque exclusivement américaine. En Europe, elles ont été introduites par l'Homme.

Cactus n'existe pas comme genre.

Ce sont toujours des plantes succulentes dont les tissus font de la rétention d'eau. Elles sont généralement épineuses. Elles peuvent être en forme de cierge, de raquette ou en « coussin de belle-mère ».

Seul le genre *Pereskia* possède des feuilles. Habituellement, elles sont transformées en épines.

Les tiges présentent des aréoles (petites dépressions) souvent remplies de poils, avec la sortie des épines.

Les fleurs sont à nombre indéfini de pièces : nT + nE + 3 à nC.

Opuntia ficus indica (figuier de barbarie) présente des raquettes charnues. Il joue un grand rôle dans les régions d'Afrique du nord. Sa fleur a la même formule que précédemment. L'ovaire est infère et, une fois fécondé, il donne un faux fruit. C'est un ovaire uniloculaire à placentation pariétale.

Dans cette famille, on trouve Peyotl : *Lophophoria échinocactus* qui contient de la mescaline : hallucinogène puissant. Le peyotl n'est pas épineux et pousse dans le nord de l'Amérique.

β\ Les Caryophyllaceae.

Ce sont des plantes herbacées à feuilles opposées, portées au niveau des nœuds, renflés. L'inflorescence est une cyme bipare. La fleur est pentamère avec dix étamines (double du nombre de base → diplostémonie). Le cycle externe d'étamines est en face des pétales ➔ obdiplostémonie.

Les carpelles sont généralement au nombre de cinq, à placentation centrale : ovaire uniloculaire.

Dans cette famille, on distingue deux tribus (sous-familles) :

- Tribu à sépales libres : les Alsinées. Exemples : *Stellaria*, *Cerastium*.
- Tribu à sépales soudés : les Silénées. Les sépales se soudent en un tube. Le limbe sort de ce tube par un onglet. Exemples : *Dianthus* (œillet), *Lychnis*, *Silène*, *Saponaria*.

Ce sont des plantes liées aux moissons (messicoles), comme par exemple, la nielle (*Agrostemma githago*).

3\ Les Fabales.

Les Fabaceae (= Légumineuses).

Les fabaceae sont une famille homogène car un caractère est typique : le fruit, ou le « légume », est une gousse. La gousse est un fruit dérivant d'un seul carpelle et s'ouvrant habituellement par deux valves (une ventrale et une dorsale).

Ces légumineuses abritent des bactéries, fixant l'azote atmosphérique, au niveau de racines : les nodosités (bactéries du genre *Rhizobium*).

Ce sont des plantes pouvant coloniser de nombreux milieux grâce à ces nodosités. Les feuilles sont composées.

α\ Première sous-famille.

La fleur est actinomorphe. Les fleurs sont petites, groupées en inflorescence compacte avec n étamines. ➔ Mimosoïdae. Ce sont toujours des arbres ou des arbustes.

L'appareil végétatif est constitué de feuilles composées de nombreuses folioles. Dans certains cas, les feuilles arrivent à disparaître et ce sont les phylums – rachis aplatis – qui assurent la fonction chlorophyllienne. Chez certaines familles, on trouve souvent des stipules, petits appendices à la base des feuilles. Ces stipules peuvent être transformées en épines.

La fleur : Chaque petite boule correspond à une inflorescence. C'est une fleur actinomorphe régulière avec de nombreuses étamines.

Le genre *Acacia*.

Les Acacias sont africains et australiens. En France, ce que l'on appelle mimosa est du genre *Acacia*. On trouve des espèces africaines spontanées, typiques des milieux sub-désertiques. Quand il fait trop chaud et trop sec, les arbres perdent leurs feuilles.

Acacia senegal donne la gomme arabique.

Mimosa pudica a des folioles qui se referment quand on les touche.

On trouve aussi les albizzias.

La symbiose Acacia/fourmis ou myrmécophilie.

Certains Acacias hébergent, dans leurs stipules, des fourmis. *Acacia conigera* abrite des fourmis *Pseudomyrmex ferrugina*. Ces fourmis sont nourries par l'acacia. En retour, elles débarrassent l'arbre des plantes épiphytes et le protègent contre les herbivores.

Des Acacias proches de conigera existent mais sont sans fourmis ; ils ont des défenses chimiques (cyanogènes) à la place.

β\Seconde et troisième sous-familles.

Dans les deux cas, les fleurs sont zygomorphes avec jusqu'à dix étamines.

- <u>Les Faboïdeae.</u>

La préfloraison est vexillaire ; présence de dix étamines (diadelphes).

Les feuilles sont composées, pennées. On note la présence de stipules parfois modifiées en feuille ou vrille.

La fleur est zygomorphe avec une corolle papillonacée, typique de la préfloraison vexillaire. Cette fleur est pentamère avec : un pétale supérieur formant l'étendard, deux pétales latéraux (les ailes) et deux pétales inférieurs (la carène).

Les étamines sont au nombre de dix (diplostémonie). Elles sont soit toutes soudées entre par le filet et forment le tube : androcée monadelphe, soit neuf étamines sont soudées et une est libre (à côté de l'étendard) : androcée diadelphe.

On trouve un carpelle à ovaire supère qui donne une gousse pouvant avoir plusieurs allures différentes. Par exemple, la luzerne va donner des gousses enroulées sur elles-mêmes.

La cacahuète (*Arachis hypogea*), à maturité, montre un photropisme négatif qui fait que le pédoncule se rapproche du sol et enfonce la gousse dans la terre. Le trèfle (*Trifolium*) a une gousse minuscule. Le genet pour sa dissémination, pratique une ouverture violente de la gousse (autochorie).

Les Faboïdeae ont des rôles alimentaires importants :
- *Arachis* → huile et cacahuète.
- *Cicer arietinum* : le pois chiche.
- *Lens culinaris* : les lentilles.
- *Phasealus* : les haricots.
- *Pisum sativum* : les pois.
- *Vicia faba* : les fèves.

Elles peuvent aussi avoir un rôle pour les fourrages : *Trifolium* (le trèfle), *Medilago* (la luzerne). Elles sont aussi utilisées pour les teintures avec Indigofera (l'indigo) et ont un rôle écologique en formant les landes à genets et à ajoncs.

- Les Cesalpinoideae.

La préfloraison est carénale et l'on a dix étamines libres.
Ce sont généralement des arbres, avec quelques arbustes. Au niveau de cette sous-famille, on a :
- *Cercis siliquastrum* : arbre de Judée. Cet arbre fleurit avant d'avoir des feuilles. Ces dernières ont leur pétale supérieur interne, contrairement aux papillonaceae. Les étamines sont libres.
- *Cassia gloditschia* : il peut former de grands arbres avec des épines regroupées par trois au niveau du tronc.

Le caroubier (*Ceratonia silique*) forme des gousses que l'on appelle « caroube ». Ce végétal est une espèce thermo-méditerranéenne (de basse altitude).

4\ Les Rosales.

Famille des Rosaceae.

Dans ce groupe, on trouve les fraisiers, les cerisiers… Ils peuvent être des arbres, arbustes ou des herbacés. Les feuilles sont alternes avec présence de stipules. La fleur est généralement cyclique, basée sur le type 5 (pentamère). Celle-ci est hétéroclamydée : pétales et sépales sont différenciés. C'est une fleur dialypétale, polystémone (nombreuses étamines).

L'ovaire peut être libre ou soudé au réceptacle. Les différentes sous-familles sont : les Rosoideae, les Prunoideae, les Spiracoideae, les Maloideae.

Les Rosoideae ont de nombreux carpelles avec un ovule. On distingue trois cas. Les carpelles sont portés par un thalamus : c'est le cas de la fraise. Chez *Rubus*, la ronce, on a un certain nombre de petites drupes. Le réceptacle s'est retourné et la partie basale de la fleur entoure les carpelles (périgyne) : c'est le cas de Rosa.

Les Prunoideae ont un carpelle unique (prunier, cerisier).

Les Spiracoideae ont cinq carpelles et les fruits sont appelés « follicules ». Ce sont des fruits secs déhiscents).

Les Maloideae sont caractérisés par un ovaire infère soudé au réceptacle (pommier, poirier).

On peut distinguer une tendance à l'apparition d'un ovaire infère et à la réduction du gynécée. C'est une famille majeure d'un point de vue alimentaire : *Malus* (pommier), *Cytonia vulgaris* (cognassier), *Prunus avium* (cerisier), *Pyrus communis* (poirier), *Fragaria vesca* (fraisier).

Ces Rosaceae contiennent un certain nombre d'hétérosides cyanogéniques (avec du cyanure) et sont, pour certaines, toxiques (notamment les noyaux mais aussi certains fruits).

Les Rosaceae ont aussi un rôle écologique important, puisque, un certains nombre d'espèce sont pionnières dans l'héliophilie (par exemple le Prunellier [*Prunus spinosa*] qui supporte la lumière directe).

Sorbus latifolia est une des seules espèces arborées protégée. Cette plante est intéressante car elle est un hybride entre deux espèces : Sorbus aria à feuilles non découpées et *Sorbus torminalis* à feuilles découpées.

5\ Les Fagales.

La famille des Fagaceae.

Cette famille comporte trois genres principaux qui constituent les forets françaises : *Quercus* (chêne), *Fugus* (Hêtre), *Castanea* (Châtaignier).

Les Fagaceae appartiennent au groupe des arbres à chatons ou amentifères. On dit cela car les inflorescences males constituent des chatons.

Les espèces sont monoïques.

Si l'on regarde un chaton male de châtaignier, on observe un épi de cymes de fleurs. Ce chaton possède un nombre constant d'éléments qui chacun donne une cyme bipare. Toutes ces cymes sont réduites à une seule fleur ; cette dernière étant elle-même très réduite.

La différenciation des trois genres principaux se fait au niveau des fleurs males et du fruit qui est toujours un akène monosperme.

Le châtaignier donne trois akènes monospermes car la cyme femelle possède trois fleurs. Chez le hêtre, on trouve deux akènes. Le chêne ne porte lui, qu'un akène car il n'y a qu'une seule fleur au niveau de la cyme femelle.

Ces akènes sont enveloppés par des bractées ligneuses soudées entre elles. Ces dernières constituent un organe : la cupule ; ce qui explique le nom de « cupulifère » donné à ces fagaceae.

On observe de nombreuses espèces de chênes différents. En France, on en a environ sept espèces importantes au niveau écologique qui se répartissent en deux groupes : les chênes à feuillage caduque et les chênes à feuillage persistant (sempervirent). Les quercus caduques sont composés du chêne pédonculé et du chêne sessile. Les quercus persistant regroupent les chênes verts (*Quercus ilex*), le chêne liège (*Quercus suber*) et le chêne kermes (*Quercus coccifera*).

Le chêne liège est une espèce intéressante : c'est une plante calcifuge (qui fuit le calcaire). On le trouve dans les régions méditerranéennes et sur le littoral atlantique. Ce chêne possède un suber provenant du fonctionnement de l'assise subéro-phélodermique, ce qui constitue une bonne protection contre les incendies. On en fait entre autre, des bouchons pour les bouteilles de vin.

La subériculture : la première opération pour enlever le liège est le démusclage ; c'est comme avec les crêpes, la première est ratée.

6\ Les Brassicales.

On note une tendance à la zygomorphie chez les *Ibéris*.

Les Brassicaceae (Crucifères).

Les inflorescences miment une fleur unique : les pétales externes sont plus grands.

Les crucifères se mangent, notamment les brassica (*Napus*). *Napus esculenta* = navet ; *Napus oleifera* = colza.

Brassica oleaceae : c'est le chou. C'est une espèce spontanée sur les littoraux d'Europe du Nord. *Brassica sativus* est le radis.

Certaines crucifères ont des propriétés médicinales et elles sont souvent riches en vitamine C : ce sont des anti-scorbutiques.

Certaines crucifères sont ornementales, par exemple, *Lunaria biennis* aussi appelée, la monnaie du pape.
Cheranthus chereis est la giroflée.

Chez la moutarde, on note la présence de cellules à myrosine : c'est une enzyme qui dégrade les glucosides sulfurés (très présents dans les graines). C'est ce qui donne l'huile de moutarde. En fait, c'est un système de défense.
Lors de la mastication, il y a mélange des enzymes et de l'huile de moutarde, ce qui libère des composés sulfurés au goût de moutarde.

Le pastel (*Isatis tinctoria*) est utilisé comme plante tinctoriale pour sa couleur bleue. Elle était fortement cultivée au 16ème siècle. Sa chute est due à la découverte de l'indigo (*Indigofera sulfructosia*). On récupère les feuilles de pastel, on les fait macérer, on les broie puis on en fait des boules : la cocagne.

La rose de Jéricho (*Anastatica hierochuntica*). Quand ses feuilles tombent, s'il fait sec, la plante se recroqueville en boule ➔ elle se fait arracher par le vent et est transportée, ce qui est un bon moyen de dissémination.

7\ Les Ericales.

La famille des Ericaceae.

Les éricaceae forment la famille des bruyères, de la myrtille. Ce sont des plantes ligneuses, en arbustes dont les feuilles sont très variables ; généralement simples, plus ou moins développées. Elles sont du genre érocoïdes : feuilles en aiguille souvent persistantes.
Les landes à bruyère sont sur les sols pauvres.
La taille réduite des feuilles n'est pas explicable par le manque d'eau, mais peut-être à cause de la pauvreté des sols.
Les fleurs sont pentamères : 5S, 5P, 10^{E}, 5C. C'est une famille gamopétale. Les étamines sont à déhiscence poricide. Certaines étamines ont des petites « cornes », des appendices.

Les Ericaceae sous divisées en quatre tribus :

α\ Les Rhododendroideae.

La fleur est légèrement zygomorphe avec un ovaire supère. Les étamines sont sans appendice.
Le rhododendron est typique de l'étage sub-alpin. En ce moment, il y a recolonisation de ce milieu.

β\ Les arbutoïdeae.

Arbutus unedo : l'arbousier. Le fruit est une baie ou drupe. Les feuilles sont bien développées. *Arctostaphylos uva ursi* est le « raisin d'ours ».

γ\ Les Vaccinoïdeae.

Dans ce groupe, on trouve la myrtille.

L'ovaire est infère ; la feuille développée ; les étamines cornues.

δ\ Les Ericoideae.

Le genre *Erica* est la bruyère.
Le périanthe est persistant → la fleur se dessèche sur l'arbre.
Le fruit est une capsule.

8\ Les Lamiales.

Les Lamiaceae.

Les lamiaceae sont des plantes aromatiques.

La tige est carrée (quadrangulaire), les feuilles sont opposées, décussées (perpendiculaire par rapport au niveau de la feuille).

Elles présentent des adaptations aux climats secs (thym, lavande).

On trouve des poils sécréteurs.

Les inflorescences sont généralement en cymes concentrées.

La fleur est : 5Ss, 5P (2 pour la lèvre inférieure et 3 pour la supérieure). La zygomorphie augmente. Ces plantes sont gamopétales, gamopétales.

Chez *Ajuga*, la lèvre supérieure a disparu.

On a quatre étamines soudées à la corolle. Chez *Salvia* (la sauge), on trouve un système de basculement qui permet de déposer le pollen sur le dos d'un insecte. On a deux carpelles mais qui donnent un tétrakène : il y a formation de fausses cloisons qui sépare les deux carpelles.

La pollinisation est entomophile.

Dans les lamiales, on trouve : *Lavandula*, la lavande ; *Rosmarinus*, le romarin ; *Thymus*, le thym ; *Salvia*, la sauge ; *Satureia*, a sarriette ; *Mentha*, la menthe.

9\ Les Apiales.

Les Apiaceae (anciennement Ombellifères).

Les apiaceae sont généralement herbacées sauf *Bupleurum* qui est ligneux.

Les feuilles sont composées, découpées (carotte, fenouil) sauf *Bupleurum* (feuilles simples).

L'inflorescence est en ombelle. On a soit une ombelle simple avec une bractée à la base du pédoncule de chaque fleur, soit une ombelle d'ombellule avec les bractées à la base des pédoncules fixés sur l'ombellule. Les ombelles, en se resserrant, vont imiter une fleur unique.

Chez Seseli, la formule florale est : $5S_I$, $5P_I$, 5E, 2C.

Le fruit est un schizocarpe (= 2 méricarpes) : exemples, graine de cumin, de carvi.

<u>Exemples de plantes alimentaires</u> :

Anethum graveolens, l'aneth ; *Antriscus cerofolium*, le cerfeuil ; *Coriandrum sativum*, la coriandre ; *Cuminum cyminum*, le cumin ; *Daucus carota*, la carotte ; *Foeniculum vulgare*, le fenouil.

<u>Exemples de plantes dangereuses</u> :

Conium maculatum, la grande ciguë ; *Cicuta virosa*, la ciguë aquatique.

10\ Les Astérales.

Les Asteraceae (anciennement Composées).

L'inflorescence est en capitule. Les fleurs sont insérées sur un réceptacle. Le tout simule une fleur unique. A la base de celle-ci, on a un involucre de bractées comme chez les apiaceae.

L'ovaire est nettement infère. Le fruit est un akène, souvent surmonté par un papus (ensemble de poils aidant à la dissémination de la graine par le vent).

Ce sont des plantes à fort pouvoir de colonisation.

Exemple d'Asteraceae :

Cichorium endiva, l'endive ; *Lactuca sativa*, la laitue ; *Taraxacum officinale*, le pissenlit ; *Helianthus annuus*, le tournesol ; *Cynara scolymus*, l'artichaut ; *Artemisia absinthium*, l'absinthe ; *Artemisia glacialis*, le genépi ; *Arnica montana*, l'arnica.

α\ Les tubuliflores.

Les fleurs sont actinomorphes, tubuleuses. Exemple : le bleuet, *Centauver*.

Les anthères sont soudées et forment un tube d'où émerge le style et deux stigmates.

β\ Les liguliflores.

La fleur est ligulée, zygomorphe, avec cinq dents.

γ\ Les radiées.

Les fleurs sont ligulées avec trois dents périphériques. Au centre, elles sont tubuleuses. On trouve chez les radiées, la marguerite, le chrysanthème.

➔ C'est la meilleure simulation de fleur unique.



Partie 2 :
Structures et modalités adaptatives des cormophytes.

I\ Introduction.

Une adaptation est différente d'une accommodation.

Quand des plantes se maintiennent dans un biotope donné, on considère qu'elles ont toutes les réponses face à ce milieu : elles y sont adaptées. Il faut toutefois éviter toutes les interprétations finalistes : les plantes n'ont pas de conscience. Tout vient de la concurrence, de la compétitivité. Certaines plantes répondent mieux à certains milieux que d'autres. Ces adaptations sont au niveau héréditaire (niveau génotypique).

Adaptation : propriété héréditaire, physiologique, anatomique ou morphologique permettant à une espèce de se maintenir et de se développer dans des conditions écologiques particulières.

L'adaptation est plus ou moins stricte.

Exemple du chêne vert. Le feuillage est persistant ; les feuilles petites, dures. C'est une espèce sclérophylle, sempervirente. Il se développe bien sous climat méditerranéen (avec période sèche estivale). Ce chêne n'est pas exclusif à ce climat. On le trouve aussi en climat océanique.

Les facteurs qui jouent le plus sont les facteurs de compétition entre espèces. Les plantes les plus adaptées à un milieu seront les plus compétitives.

Accommodation : Pour une même espèce, avec deux pieds plantés à des endroits différents (plaine/montagne), on aura des plantes à morphologie différente. La graine n'est pas touchée → les modifications touchent le niveau phénotypique.

Définition : une accommodation est une modification réversible des caractères anatomiques, physiologiques d'un organisme selon les variations des facteurs du milieu.

Dans la Sierra Nevada espagnole, au sud de Grenade, en montagne sèche, quand on passe de 1500 mètres à 3000 mètres, on retrouve des genets purgatifs (papillonacées). A 1500 mètres, ils sont érigés (1,5 à 3 mètres), à 2500 mètres, ils sont beaucoup plus petits et à 3000 mètres, ils sont un port en boule comme des xérophytes épineuses en coussinet.

II\ Les rythmes biologiques.

A\ Mode de végétation.

Le plus important est de voir le mode de végétation et la capacité à fleurir.

1\ Les plantes à une floraison.

α\ Plantes annuelles (thérophytes).

Exemples : le blé, le coquelicot.
La graine donne une tige et une(des) fleur(s) puis des graines et un pied qui meurt.

β\ Plantes bisannuelles.

La première année, ces plantes forment l'appareil végétatif qui accumule des réserves. La seconde année, il y a utilisation des réserves pour fleurir, fructifier puis mourir.
Exemples : Oignon (*Allium cepa*), la cardère ou cabaret des oiseaux (*Dipsacus sylvestris*).
Allium donne une rosette, la cardère donne un capitule.
La cardère était utilisée pour carder la laine.

γ\ Plantes pluriannuelles.

Ce sont des plantes vivaces (vivent 10 à 15 ans) qui ne fleurissent qu'une fois puis meurent. On y trouve l'agave (Agave americana).
Ces plantes sont aussi appelées espèces monocarpiques.
On trouve aussi la carline à feuilles d'acan (*Carlina acanthifolia*) qui présente un gros capitule. Elle est acaule (= sans tige). Pendant plusieurs années, il y a fabrication de rosettes de feuilles et mises en réserve dans les racines pivotantes. Cette plante fleurit ensuite puis disparaît.

2\ Les plantes à plusieurs floraisons.

On trouve ce cas chez les arbres, les arbustes, les buissons : les plantes ligneuses. On en trouve aussi chez des herbacées avec rhizomes (exemple : Iris. C'est aussi le cas de plante à bulbe comme la tulipe. Ce dernier exemple n'est pas parfait car il se présente d'autres problèmes.

B\ La phénologie foliaire.

On distingue les feuillages caducs des feuillages persistants.

Les feuillages persistants sont souvent présents dans les climats méditerranéens mais aussi en forêts boréales. Le renouvelage des feuilles se fait tous les ans et demande une grande dépense en énergie. Toutefois, les feuilles sont neuves et donc, plus efficaces.
La phénologie est la façon dont se succèdent les étapes de la vie d'une plante.

III\ Les types écologiques.

Selon la taille d'un végétal, de là où sont les bourgeons, on peut classer les végétaux en grands types biologiques. Ces types ont été définis par Raunkiaer (originaire de l'Europe du Nord).
La neige est une protection pour les bourgeons contre le gel. Ces plantes ainsi protégées, vont différer des non-protégées. On a donc des différences qui permettent de classer ces végétaux en divers types écologiques.
On prend en compte la bonne saison et la mauvaise saison selon les différents lieux du monde.

- Si les bourgeons sont à plus de 50 centimètres, on parle de **Phanérophytes**.
- Les **chaméphytes** (comme la myrtille) sont des végétaux ligneux, vivaces dont la hauteur n'excède pas 50 centimètres.

- Les **hémicrophytes** (comme le pissenlit, les orties) ont des bourgeons souvent au ras du sol et ont un système de plante en rosette.
- Les **géophytes** ont des bourgeons de rénovation dans le sol (bulbe, rhizome, tubercule). Ils ont aussi souvent de gros organes de réserve.
- Les **thérophytes** sont des plantes annuelles, sans bourgeon, qui persistent à l'état de graine.

Il a été montré que la période de développement de la plante est variable. Elle est fonction des conditions écologiques du milieu. Pour une plante saharienne, de la germination à la fructification, il ne se passe qu'entre 8 et 15 jours. Ces plantes sont dites **éphémérophytes**. Elles ont des feuilles naines et de petites fleurs. Elles sont parfaitement adaptées au milieu saharien. (absence de pluie ou pluie localisée dans le temps). Une averse de 4 à 5mm permet le développement de la plante.

Une autre classification est basée à partir du premier bouton floral jusqu'au premier fruit fertile. Si l'intervalle de temps est inférieur à 20 jours, on a des plantes **tachythérophytes**. Entre 20 et 30 jours, ce sont des **sténothérophytes**. Entre 30 et 50 jours, ce sont des **mésothérophytes**. S'il se passe plus de 50 jours, ce sont des **eurythérophtes**.

A partir des types biologiques, dans un milieu donné, on définit des spectres biologiques. Ces spectres sont donc variables en fonction du milieu et chaque milieu aura une ou deux espèces dominantes.

IV\ Multiplication et dissémination sous forme végétative.

Les plantes issues de la multiplication végétative ont le même génotype : elles perpétuent les caractères de la plante mère. Il n'y a pas de brassage génétique. → Les individus sont tous des clones.

Pour les plantes dioïques, tous les clones ont le même sexe.

Par exemple, l'Elodée du Canada, en France, n'est présente que sous forme femelle, qui se reproduit donc par multiplication végétative.

A\ Multiplication par organes non spécialisés.

1\ Marcottage naturel.

<u>Exemple de la ronce (*Rubus*).</u>

On a isolement d'une partie d'un végétal en enracinement. Une tige se courbe en anneau et entre en contact avec le sol : il y a formation de racines adventives qui fixent la tige au sol. Après la coupure, on a un nouvel individu, isolé, identique au pied mère.

Le marcottage existe aussi chez les arbres.

<u>Exemple de l'Epicéa des Alpes, dans les dolomites Italiennes.</u>

Les branches basses sont plaquées au sol par la neige. Elles vont s'enraciner et donner un nouvel Epicéa en aval du premier. Le nouvel individu se séparera de la plante mère. Ce phénomène peut se répéter de nombreuses fois.

On trouve la même chose pour le rhododendron dans les Pyrénées.

2\ Le bouturage.

Les racines se forment après séparation (naturelle) de la plante mère. A l'état naturel, on observe ce phénomène chez les figuiers de barbarie, chez *Sédum* (crassulaceae).

➔ La nouvelle plante est toujours un clone de la plante mère.

B\ Multiplication par organes spécialisés.

1\ Les stolons.

Exemple du fraisier.

Les stolons sont des rameaux spécialisés, à croissance horizontale dont les entre-nœuds sont fortement étirés et portent des feuilles très courtes, réduites à des écailles. Les stolons permettent l'exploration du milieu puis la prise de racine a lieu plus loin.

2\ Les racines drageonnantes (ou drageons).

Ce sont des racines généralement horizontales sur lesquelles apparaissent les bourgeons. Exemples : framboisier, peuplier.

3\ Les organes de réserve.

Les organes de réserve jouent un rôle de réserve mais aussi de dissémination.

α\ Les tubercules.

- Les tubercules racinaires.

Des racines adventives vont se tubériser (se renfler de réserves). Exemple : le dahlia dont les racines se renflent et accumulent de l'inuline. Il y aura séparation des tubercules et donc, autant de nouvelles plantes que de tubercules. Exemple : la ficaire (*Ranunculus ficaria*) a des tubercules avec amidon. Elle possède aussi des bulbilles permettant la dissémination.

- Les tubercules caulinaires.

Exemple : la pomme de terre (*Solanum tuberosum*). Les tubercules ont un rôle de réserve et de dissémination. On trouve aussi les topinambours (*Heliantus tuberosus*) et *Stachystubifera*, le crosne du Japon.

β\ Les bulbilles.

Les bulbilles sont aussi des organes de réserve. Ce sont des petits bulbes apparaissant à l'aisselle d'une feuille ou d'une inflorescence.

Exemple : le lys (*Lilium bulbifera*) possède des bulbes qui se détachent, ce qui permet la dissémination de la plante

Ces organes existent aussi chez la ficaire où les bulbilles restent dormantes si elles ne se détachent pas du pied mère.

Chez certains ails, les bulbilles sont entre les fleurs, au niveau de l'inflorescence. *Allium* est un genre de Liliaceae.

Les saxifragaceae sont des plantes rupicoles (qui poussent sur les rochers) où la base de la tige montre des bulbilles rougeâtres pouvant assurer la multiplication asexuée.

Les bulbilles ou bourgeons épiphylles (Bryophyllum) ont des bourgeons qui se répartissent tout autour de la feuille. Ils vont se détacher et donner de nouveaux individus. Ils n'ont pas de réserves (ce ne sont pas de vraies bulbilles).

V\ Reproduction sexuée et stratégie de pollinisation.

- Emission de grains de pollen.
- Transport du pollen et dépôt sur les stigmates (fleur de même espèce).
- Développement du tube pollinique, une fois le pollen déposé.

A\ La répartition des sexes.

Les fleurs sont le plus souvent hermaphrodites (à 75%) mais on trouve aussi des fleurs monoïques ou dioïques.

Le frêne (Fraxinus excelsior) possède des samares (fruits) servant à la dissémination des graines. Dans une population de frênes, on trouve 40% de mâles, 4% de femelles et 56% d'hermaphrodites (dans une population d'une région donnée, étudiée). → Cet arbre a la potentialité d'être hermaphrodite.

On peut définir trois grands types de pollinisation :

- Autogamie directe :

Le grain de pollen féconde la fleur d'où il vient. Il y a autofécondation. Le transport est court.

- Autogamie indirecte :

Le grain de pollen va féconder une fleur du pied ou bien une fleur d'un clone de la plante dont il est issu. L'autogamie indirecte est aussi appelée Geitonogamie. Cette pollinisation existe chez les hermaphrodites et les monoïques.

- Allogamie :

Le grain de pollen va féconder la fleur d'un individu génétiquement. La pollinisation est croisée. Cette pollinisation existe chez les espèces monoïques ou dioïques.

Il existe des cas où l'autogamie est obligatoire. Par exemple, chez la violette odorante (*Viola Odorata*), on trouve deux types de fleurs. Les fleurs de printemps s'ouvrent (corolle ouverte) et permettent tous les cas de pollinisation. Les fleurs d'été ne s'ouvrent jamais : ce sont des fleurs cléistogames ne présentant qu'une pollinisation par autogamie directe.

Ce phénomène existe aussi chez *Oxalis acetosella*.

Le paradoxe : Les deux sexes sont rapprochés, ce qui laisse penser que l'autogamie est de règle. En fait c'est toujours l'allogamie qui domine.

→ L'allogamie est créatrice de diversité, augmente le brassage génétique → elle accroît les capacités d'adaptation des espèces.

L'autogamie diminue, elle, les capacités d'adaptation par diminution du brassage.

Il existe des pressions de consanguinité.

Pour les espèces cultivées ou sélectionnées, il faut diminuer, le plus possible, le brassage génétique. Chez beaucoup de plantes principalement allogames, l'autogamie peut intervenir en dernier recours (s'il n'y a pas de pollinisation croisée) pour assurer la reproduction.

Exemple de la stratégie du rhododendron (*Ferrugineum*), une éricaceae. C'est une plante entomogame. Elles ont 10 étamines dont 5 grandes et autant de petites.

La pollinisation, par un système de tulle montre que la plante est autogame (aucun échange de pollen avec l'extérieur n'est possible). Si l'on refait la même expérience mais en enlevant les petites

étamines, on voit que l'on n'obtient jamais de graine. L'autogamie est donc réalisée à partir des petites étamines ; les grandes servent à la pollinisation croisée.

➔ L'autogamie est un système de « roue de secours », une adaptation aux conditions.

Pour diminuer l'autogamie, il y a décalage temporaire de la maturation des anthères et des stigmates (dichogamie). On trouve deux cas : la protandrie, les anthères sont mures avant les stigmates (tournesol) ; la progynie, la partie femelle est mure avant la partie mâle (exemple, l'arum).

Exemple de l'avocatier (*Persea gratissima*).
Le développement de l'avocatier se fait sur deux jours.

	Premier jour		Deuxième jour	
	Matin	Après-midi	Matin	Après-midi
Etat des fleurs	Ouvertes	Fermées	Fermées	Ouvertes
Individu 1	Stigmates réceptifs ; Pollen non mature			Stigmates non réceptifs ; Pollen mature
Individu 2	Stigmates non réceptifs ; Pollen mature			Stigmates réceptifs ; Pollen non mature.

Il y a obligation de pollinisation croisée. Les individus sont soit protandres, soit protogynes.

Dans une même fleur, il a souvent séparation spatiale maximale des étamines et des stigmates. Par exemple, les étamines, dans de nombreux cas, sont beaucoup plus grandes ou petites que les stigmates ➔ C'est l'erchogamie.

Le plus efficace pour empêcher l'autogamie est une incompatibilité génétique entre le pollen et les stigmates (comme chez les primevères). Chez la primevère, on note la présence de deux types de fleurs : fleurs à étamines longues et styles courts ; fleurs à étamines courtes et à styles longs. On a dans ce cas, erchogamie et auto-incompatibilité.

<u>Les allocations de ressources.</u>

Quand on analyse les comportements de végétaux ou d'animaux, on observe en terme de coût (énergie, ressources…).

L'autogamie demande peu de ressources pour les grains de pollen (peu de grains avec peu de ressources), donc, un faible investissement. On verra chez ces mêmes espèces, une augmentation des ressources des ovules et des graines.
La primevère (*Primula farinosa*), allogame stricte, a été étudiée et comparée à trois autres espèces autogames. → Les trois autogames produisent 5 à 10 fois moins de pollen mais deux fois plus d'ovules. On peut faire le rapport P/O (pollen fabriqué/Ovaires fabriqués). Le P/O de *farinosa* est de 2000 environ et chez les autres, il n'est que de l'ordre de 200.
Il a aussi été montré que la corolle des autogames était plus petite que celle des autres.

Une espèce allogame a un P/O ≈ 6000 ; un autogame a un P/O ≈ 30 et une espèce clestogame a un P/O ≈ 5.

B\ La Pollinisation.

1\ L'anémogamie.

L'anémogamie concerne 20% des espèces florales françaises dont les graminées (les Poaceae). Il faut que le pollen soit de petite taille (10 à 30µm), léger et transportable par le vent. De plus, les plantes « pratiquant » l'anémogamie ne doivent pas regarder sur la quantité de pollen produit.

Par exemple, un pied de maïs donne 50 millions de grains de pollen et seul 1 grain sur 50000 sera utilisé. Le noisetier porte des chatons qui libèrent chacun, 4 millions de grains de pollen par jour. Les chatons se développent avant les feuilles car ces feuilles feraient obstacle au pollen.

Chez les Poaceae, le pollen est fabriqué par des étamines à filet long et mobile.

Pour les espèces anémogames, les fleurs femelles possèdent des stigmates collants (noyer) ou plumeux et longs (Poaceae).

Les fleurs mâles et femelles sont habituellement, relativement simples. Le périanthe, peu développé. Certaines espèces sont même sans pétale, comme les chênes et les orties.

2\ La zoogamie.

Dans la zoogamie, le vecteur est un animal, souvent un arthropode. Dans la grande majorité des cas, ce sont des insectes et l'on parle d'entomogamie. D'autres animaux peuvent aussi intervenir, comme le colibri. Les baobabs (*Andosonia*) sont pollinisés par une chauve-souris : les fleurs s'ouvrent donc à la tombée de la nuit.

Dans le cas des interactions plantes/insectes, le phénomène peut aller jusqu'à une co-évolution : un seul type d'insecte pourra polliniser un seul type de plante.

Les stratégies d'attraction :

- Les signaux optiques.

Les pétales peuvent être vivement colorés et chez les liliaceae, même les sépales sont pétaloïdes. Le développement des bractées joue aussi un rôle : chez l'arum, une grande bractée se développe et piège les insectes.

Les étamines aussi peuvent être colorées.

Chez les orchideae, il y a développement d'une corolle représentant un insecte : c'est un leurre.

Chez les sauges, il se développe une « piste d'atterrissage » pour les insectes.

- Les signaux olfactifs.

Les *Lonicera periclymenum* sont des fleurs surtout parfumées la nuit car elles sont pollinisées par des papillons (Sphinx). La rafflésie donne une fleur d'environ un mètre de diamètre à odeur de viande pourrie (se trouve vers Sumatra). L'Orchis bouc dégage une odeur de bouc. Certaines Ophrys émettent des phéromones sexuelles d'abeilles.

L'arum émet une odeur renforcée par émission de chaleur (+35/40°C).

- Les apports nutritifs.

Les insectes recherchent de la nourriture. Cela peut être du pollen (comme au début de l'évolution) ou des nectaires (glandes synthétisant du nectar) situés à la base des pétales ou des étamines. La production de nectar a aussi un coût énergétique.

- Le groupement des fleurs.

Ce groupement donne une inflorescence plus ou moins compacte qui permet d'augmenter l'attirance envers les insectes.

Le cas des composées ; le capitule de marguerite.

A l'extérieur, les fleurs sont ligulées et souvent stériles et jouent un rôle dans l'attraction des insectes. Les fleurs en tube, internes, jouent un rôle dans la reproduction.

Le problème est que cette compaction favorise la géitonogamie (les étamines d'une fleur vont féconder les fleurs du même pied).

La digitale (*Digitalis purpurea*), une scrophulariaceae a des fleurs qui se développent de bas en haut. De plus, ces fleurs sont protandres. La quantité énergétique en nectar diminue en allant du bas vers le haut. Les insectes vont d'abord aller voir les fleurs du bas puis remonter.

Le cas des orchidaceae (monocotylédones).

La fleur présente trois tépales dont une plus développée que les autres (le labelle) qui est souvent mimétique. Le labelle peut être poursuivit en arrière par un éperon.

Les étamines, le style et les stigmates sont soudés en un organe : le gymnostème. Le pollen est agglutiné au niveau de deux pollinies.

L'ovaire est infère, uniloculaire, constitué de trois carpelles.

Sur les trois stigmates, deux sont fertiles et un forme une petite structure particulière : le rostellum. Ce dernier est situé entre les pollinies et les stigmates fertiles. Il a séparation de l'appareil mâle et femelle dans une même fleur : c'est une erchogamie qui fait diminuer l'auto-pollinisation.

La fécondation est réalisée par les insectes. L'insecte va se poser sur le labelle et les pollinies vont se coller sur la tête de l'insecte.

Exemple de la vanille (orchidée) :

Vanillia planiflora. Cette plante est originaire d'Amérique du sud et d'Amérique centrale. Dans ces milieux, elle est pollinisée par un hyménoptère (*Melipona*), spécifique de la vanille. Cette vanille a été introduite dans d'autres milieux où elle est restée stérile car il n'y avait pas l'insecte. Il a donc été mis au point une pollinisation artificielle.

Exemple de l'orchidée malgache (*Angecum sesquipedale*).

En 1860, Darwin observe un éperon nectarifère d'une trentaine de centimètres. 40 ans plus tard, on a découvert un paillon nocturne physiquement adapté à la pollinisation de cette orchidée. ➔ Il y a un mutualisme entre une espèce de plante et une espèce d'insecte (mutualisme exclusif).

La Pollinisation chez les Arum (*Arum maculatum*).

Dans la région Midi-Pyrénées, on trouve plutôt l'espèce *Arum italicum*. L'inflorescence est particulière : une bractée (la spathe) et le spadice. Au niveau de la zone d'étranglement de la spathe sort la massue (partie stérile de l'inflorescence).

Dans la partie basse, on trouve des fleurs femelles fertiles ; un peu plus haut, on a les fleurs mâles fertiles. Dans la partie supérieure, des fleurs stériles bouchent l'entrée.

Le spadice va émettre une odeur nauséabonde (pour nous). La massue s'échauffe (facilement + 15°C par rapport à la température extérieure). Cette augmentation de température accroît l'odeur et attire des diptères. Ces insectes arrivent, entrent et fécondent les fleurs femelles. Après 24 heures, les étamines s'ouvrent, en même temps, les fleurs stériles se fanent. L'ouverture permet la libération des diptères, chargés de pollen. La spathe libère des sécrétions pour la nutrition des insectes.

Le figuier, *Ficus carica*, Moraceae.

La fécondation de ce figuier est complexe et a été bien étudiée.

L'inflorescence du figuier est particulière : clinanthe. C'est un réceptacle replié sur lui-même et qui possède plusieurs centaines de fleurs sur les parois. Un diptère du genre *Blastophaga* assure la pollinisation.

On trouve trois types de réceptacles selon les saisons et deux générations de mouches. Les réceptacles diffèrent de part le type de fleurs présentes à l'intérieur.

Les femelles de diptères passent dans les fleurs de type B. Elles pondent des œufs dans les fleurs femelles stériles. Les embryons se développent et donnent mâles et femelles. Ils s'accouplent aussitôt après l'éclosion (comme dans « *loftstory* », cf. le prof.). Les nouvelles femelles sont jusqu'aux réceptacles des fleurs mâles B.

En C, les femelles ne peuvent pas pondre car les fleurs femelles fertiles ont de longs styles. Elles déposent uniquement le pollen et ressortent pondre dans les réceptacles A dans des fleurs stériles. En A, les mouches sont sous forme de larves. En mars, il y a éclosion puis accouplement. Les femelles vont pondre en B et la boucle est bouclée.

La primevère (*Primula*).

La primevère présente des fleurs brévistylées (à gros pollen et papilles peu développées) ou des fleurs longistylées (à petit pollen à papilles bien développées).

Les grains de pollen d'une même fleur a du mal à polliniser cette même fleur à cause des papilles. Il y a aussi incompatibilité génétique.

La sauge (Salvia).

Les sauges ont, au niveau du périanthe, une expansion qui permet l'atterrissage des insectes. La fleur est protandre. L'insecte va appuyer sur la « palette », ce qui fait se replier l'étamine sur l'insecte. Il va sur la fleur au stade au stade femelle, le style et les stigmates sont au niveau du dos des insectes, il y a récolte de pollen. Il y a très peu d'exclusivité pour les insectes.

3\ L'hydrogamie.

L'hydrogamie est un cas relativement rare car le pollen est peu résistant à l'eau. Chez les hydrophytes (immergées en permanence), les grains de pollen ont des substances collantes pour pouvoir être captés. Ils sont souvent en forme de fuseau.

4\ La répartition des différents types de gamie.

On a environ 10% d'anémogamie (20% en France). Les steppes herbeuses à graminées en ont beaucoup plus.

Les forêts fermées utiliseront plutôt l'entomogamie.

IV\ Conservation et dissémination des graines.

La graine est un organe de conservation au stade diploïde. Elle est le résultat de la transformation de l'ovule après la fécondation. Elle contient l'embryon avec la radicule (donnera les racines), la gemmule (donnera la tige), le ou les cotylédons (donnent les premières feuilles, plus ou moins modifiées) et une coque protectrice (tégument). On trouvera aussi des réserves qui peuvent être dans l'albumen, dans l'embryon ou dans le nucelle.

A\ Durée de conservation de la graine.

1\ Les graines macrobiontiques.

Ces graines peuvent germer après des dizaines ou des centaines d'années. Une graine de lotus a germé après 250 ans. Dans ces cas, les téguments sont durs, épais et résistants.

2\ Les graines mésobiontiques.

Elles peuvent attendre 3 à 10 ans après leur formation. C'est le cas des céréales, comme le blé.

3\ Les graines microbiontiques.

Ce sont des graines qui ne vivent que quelques jours à quelques mois.

Le cas le plus extrême est le cas des plantes vivipares : la graine germe dans le fruit encore accroché à la plante mère.

Exemple des palétuviers de mangrove.

Les mangroves sont les forêts tropicales d'estuaire ou de bord de mer. Ce sont des formations soumises au balancement des marées. On trouve peu d'espèces arborées.

Après fécondation et si à marée basse, la plantule tombe dans la vase et se fixe immédiatement. Elle n'a plus qu'à se développer. La plantule peut aussi tomber dans l'eau (à marée haute) : elle va permettre la dissémination.

Dans la région, on trouve *Poa bulbosa* qui est une espèce vivipare.

Les fruits secs (akènes) offrent une bonne protection à la graine. Les drupes, fruits charnus avec noyau en offrent aussi une.

B\ La dissémination de la graine ou du fruit.

1\ L'autochorie.

Ce sont des plantes qui disséminent leurs graines en les expulsant plus ou moins loin.

On peut citer :

- Les fruits turgescents qui éclatent au moindre frottement (capsules d'impatience d'oxalis).
- Les gousses de fabaceae qui, lorsqu'elles se dessèchent, se tordent et s'ouvrent en expulsant les graines.
- On trouve aussi les légumineuses méditerranéennes qui expulsent les graines au moment des incendies.
- Les plantes comme Arachis, à phototropisme négatif, qui font s'enfoncer la gousse dans le sol, par le pédoncule.

2\ L'hydrochorie.

Cette dissémination demande une résistance à l'eau.

Cas de l'iris (*Iris pseudocorus*) : il fait de grandes fleurs jeunes et les graines sont cireuses, ce qui les rend imperméables.

La noix de coco peut flotter sur des milliers de kilomètres.

3\ L'anémochorie.

Les graines sont de petite taille (exemple : orchidées).

Les fruits sont renflés en vessie (Baguenaudier). Chez les papillonacées, la gousse forme une vessie remplie d'air.

Les graines portent des plumes, des aigrettes. Exemple : les graines de peuplier, de saule.

Pappus des akènes (pissenlit).

Graines à ailes : samares de frêne.

➔ Il y a un gaspillage important, donc, besoin d'une forte production pour compenser.

4\ La zoochorie.

Les vertébrés ont un rôle prépondérant dans cette dissémination. Il y a production de fruits et de graines riches en nutriments, ce qui représente un coût énergétique payé par les végétaux pour attirer les animaux.

α\ L'exozoochorie.

Il y a dissémination par fixation des graines sur les poils, les chaussettes : dissémination passive sans avantage pour l'animal. L'accrochement peut se faire par des glochidies qui sont comme des harpons, des épines.

β\ La synzoochorie.

Il y a récolte et stockage pour la consommation ultérieure. Les graines vont être transportées (par des fourmis) (élaïosomes : diverticules enrichis en lipides) ou par des écureuils qui cachent leurs glands ou noisettes.

γ\ L'endozoochorie.

L'animal va ingérer le fruit ou la graine. Il faut que la graine soit restituée par régurgitation ou par défécation. Il y a alors séparation des réserves alimentaires pour l'animal et pour la graine sclérifiée → résistance au broyage ou à la corrosion par les sucs digestifs.

Le transit par le tube digestif devient obligatoire car l'attaque par les sucs ou par les bactéries intestinales va favoriser la germination de la graine.

Etude du Lierre (*Hedera hélix*), comparaison du taux de germination.

Les graines extraites de baies mûres (directement sur l'arbre) donnent 74% de germination. On remarque que ces graines sont rapidement envahies par des mycéliums.

Si les graines sont extraites de baies vertes (pas mûres), il y a 100% de germination : les baies sont aptes tôt à germer.

Les graines récoltées au sol après ingestion et rejet par les oiseaux donne 94%% de germination, mais, sans développement de mycélium ➔ les graines sont nettoyées par les sucs, ce qui permet de ne pas avoir de pourrissement.

L'endozoochorie montre aussi des cas de mutualisme : bénéfices réciproques pour les deux partenaires.

Les vertébrés auraient joué un rôle important dans la recolonisation des terres après les glaciations et autres phénomènes.

Après les glaciations, les hêtres ont recolonisé 3000Km en 3000 ans, soit 1 km par an : l'action des animaux est obligatoire.

5\ La barochorie.

Les fruits ou graines tombent sous l'action de la gravité : marronnier, chêne, cocofesse (*Lodoïcea*).

Cette forme de dispersion a une importance relative.

En milieu forestier, on voit qu'il y a une large domination de la dissémination par les animaux.

A leur début, les forêts sont ouvertes et l'anémochorie domine. Au fil du temps, la forêt se referme et le type de pollinisation évolue. Plus la formation est ouverte, plus la pollinisation est réalisée par le vent.

V\ La fixation des plantes.

La majorité des plantes est fixée dans le milieu souterrain. D'autres, comme les épiphytes, ont une fixation aérienne.

A\ Le système racinaire.

On a une racine principale, issue de la radicule, et des racines secondaires (2ème ou 3ème ordre). Dans certains cas, on a des racines adventives. En général, elles naissent au niveau de rhizome, mais elles peuvent apparaître sur des tiges aériennes.

Les racines pivotantes : la carotte. Ce sont des expansions verticales avec peu de racines secondaires.

Les racines fasciculées. Il n'y a pas de racine principale dominante : les ramifications sont importantes. Exemple : le hêtre adulte. Les graminées ne sont pas vraiment dans ce groupe car elles ont des racines adventives.

Pour une même espèce, le système racinaire peut changer avec l'age mais aussi, en fonction du type de sol.

En fonction du temps :

Le jeune hêtre a des racines pivotantes pour aller chercher l'eau et les sels minéraux. Au bout de 4 à 5 ans, il développe des racines secondaires. Ensuite, il va mettre en place un système de racines fasciculées.

En fonction du type de sol.

Exemple 1 : *Pinus sylvestris*.

On trouve deux types de racines : des racines superficielles captant les précipitations et des racines pivotantes qui sont en contact avec la nappe phréatique. Si la nappe phréatique descend, il y aura diminution de la croissance de l'arbre.

Exemple 2 : Une graminée, *Ligeum spartum*.

Ces graminées sont souvent sur des sols avec une croûte gypseuse (le pH augmente). Les racines vont se développer sous la couche sableuse qui se trouve au dessus de la couche dure.

Exemple 3 : Les podzols (sol de la forêt landaise, indifférencié).

L'horizon A2 est appauvri et essentiellement constitué de sable : il ne retient ni l'eau ni les éléments nutritifs.

Dans cet horizon, les racines ne se développement pas du tout. Un système de racines superficielles existe ainsi qu'un système pivotant.

Exemple 4 : Les sols bruns.
Dans les sols bruns, très homogènes, les racines se répartissent uniformément.

B\ Modes particuliers de stabilisation.

1\ Les racines de contrefort.

Elles existent uniquement chez les arbres tropicaux. Elles se développent dans la partie basse du tronc.

2\ Les racines échasses.

On les trouve, par exemple, dans les zones de mangrove. Ces racines partent du tronc et plongent dans le sol (*Rhizofera*). Elles permettent au tronc de se retrouver au dessus du niveau de l'eau quand il y a marée haute.

Les pneumatophores sont des racines aériennes arrivant à la surface du sol et permettent d'alimenter la plante en O_2 (*Avicennia*).

C\ Les xérophytes, adaptation des racines.

Les xérophytes font des prospections profondes, jusqu'aux nappes phréatiques (→ plantes phréatophytes). Exemple : l'Acacia du Sahel, il peut avoir des racines de plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Les nappes doivent être bien alimentées en eau, sinon les plantes meurent.

Il peut y avoir enracinement latéral, peu profond, pour profiter de la moindre goutte de pluie (pour les plantes annuelles). En quelques heures, il y a formation de racines de pluie qui disparaîtront en quelques heures.

Le Zygophyllum d'Israël a des racines dormantes qui deviennent fonctionnelles en cas de pluie.

D\ Fixation en milieu aériens (lianes, épiphytes).

1\ Les lianes.

Les lianes sont des plantes à tige longue qui s'appuie sur divers supports (souvent une autre plante) pour élever son feuillage et le reste (recherche de la lumière).

α\ Système non préhensile (Rosier).

Par circumnutation, la tige, quand elle pousse, a son sommet qui ne reste pas immobile : il y a enroulement autour d'un support, sans organe particulier.

β\ Système préhensile.

Dans ce cas, il y a développement d'organes particuliers pour s'accrocher.
Par exemple, le lierre développe des racines adhésives.

Pour les vrilles, on distingue deux cas : les vrilles caulinaires où la tige donne les vrilles (exemple : *Vitis vinifera*) et les vrilles foliaires où les feuilles donnent les vrilles.

Les vrilles vont s'enrouler dans les deux sens, ce qui leur procure une meilleure élasticité et qui rapproche le support da la plante (Bryone : feuille → vrille).

Les pois ont une partie de la feuille qui donne la vrille.

Lathyrus aphaca : Il y a apparition de stipules développés qui assurent l'assimilation chlorophyllienne car les feuilles sont transformées en vrille

La salsepareille (*Smilax aspera*) a des stipules transformées en vrille.

2\ Les épiphytes.

Ce sont des plantes vivant sur d'autres végétaux. Ces derniers servent de support sans servir de nourriture à l'hôte (pas de parasitisme). C'est le cas des lichens, des mousses, des fougères. Beaucoup d'orchidées sont épiphytes.

Il n'y a pas de sol, ni de réservoir d'eau. Les arbres supports doivent avoir des aspérités pour que les épiphytes se développent dessus (réserves d'eau, de terre dans les creux de l'écorce).

Les épiphytes xérophytes comme Tillandsia absorbent l'eau par leur tige.

Les plantes carnivores ont des apports nutritionnels par les animaux consommés et les apports azotés viennent aussi des animaux.

Parfois, des lianes deviennent épiphytes: problème de classement.

A l'inverse, des Ficus (épiphytes) développent des racines qui s'insèrent dans le sol : ils deviennent des lianes).

Exemple : le ficus étrangleur du palmier à huile. Les racines descendent le long du tronc et arrivent au sol. Là, il a une bonne alimentation et étrangle la plante hôte qu'il gardera comme support.

